

Zastosowanie odbiorów częstotliwości wzorcowej w geodezyjnej służbie czasu wraz z analizą dokładności

SPIS TREŚCI

Wstęp	4
Rozdział I	
1. Systemy radiowych sygnałów czasu i częstotliwości	5
1.1. Jednostka oraz stosowane systemy czasu	6
1.2. Propagacja sygnałów czasu oraz wynikające z niej poprawki	8
Rozdział II	
2. Przegląd metod odbiorów sygnałów czasu i częstotliwości	11
2.1. Metody wizualno-słuchowe	11
2.2. Metody polegające na reakcji układów elektrycznych na wzrost poziomu napięcia	11
2.3. Problem zmienności przesunięć fazy	15
2.4. Metody oscylograficzne	16
2.5. Metody odbioru sygnałów częstotliwości wzorcowej	21
Rozdział III	
3. Powiązanie wzorca lokalnego z atomowym drogą radiokomunikacyjną	26
Rozdział IV	
4. Porównanie zegara kwarcowego w Borowej Górze z wzorcem atomowym	29
4.1. Schematy blokowe układów służących do porównań	29
4.2. Układy odbiorników oraz wybrane emisje	30
4.3. Wybór metody porównania	31
4.3.1. Wzory obliczeniowe oraz analiza wpływu wielkości odstojenia generatora na wyniki porównań	32
4.3.2. Analiza dokładności porównań	35
4.4. Porównanie zegara kwarcowego w Borowej Górze z zegarem atomowym w dziedzinie czasu	39
4.4.1. Określenie dokładności odbioru sygnałów czasu	44
4.5. Odbiory częstotliwościowe i czasowe oraz ich porównanie	50
4.6. Wykorzystanie porównań częstotliwościowych do określenia kształtu krzywej chodu zegara kwarcowego	50
4.6.1. Określenie dokładności poprawki zegara uzyskanej drogą sumowania chodów	51
4.7. Opis metody wyrównywania astronomicznych wyznaczeń poprawki zegara stosowanej w Zakładzie Astronomii Geodezyjnej IGIK	56

WSTĘP

Genezą niniejszej pracy był fakt posiadania przez Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjne Instytutu Geodezji i Kartografii w Borowej Górze zegara kwarcowego o niedostatecznie równomiernym chodzie. Możliwość dokładnego wyznaczenia krzywej jego chodu przez porównania radiowe w dziedzinie czasu była ograniczona przez samą metodę jak również przez warunki odbioru panujące w Borowej Górze. W związku z tym jedynym rozwiązaniem problemu było prowadzenie systematycznych porównań w dziedzinie częstotliwości.

Celem tej pracy jest przedstawienie możliwości powiązania lokalnego zegara kwarcowego z wzorcem atomowym drogą radiokomunikacyjną. Wysoka dokładność porównań w dziedzinie częstotliwości pozwala stwierdzić, że można korzystać z zegara kwarcowego nawet o mało regularnym chodzie przy dokładnych pracach z zakresu astronomii geodezyjnej, takich jak wyznaczanie czasu i długości geograficznej oraz obserwacje sztucznych satelitów Ziemi.

Teoria astronomii geodezyjnej opiera się na rozwiązywaniu trójkątów paralaktycznych. Jednym z elementów trójkąta jest kąt godzinny, który stanowi miarę kąta obrotu Ziemi. Ten właśnie kąt godzinny jest podstawą do wyznaczenia niejednostajnego czasu obrotowego Ziemi, który ma bezpośrednie zastosowanie w geodezji. Dla ustalenia tego czasu korzysta się z zegarów idących w czasie jednostajnym, których poprawka może być określona przez porównanie bezpośrednio z wzorcem bądź drogą radiokomunikacyjną.

Ze względu na charakter pracy uwzględniającej szereg zagadnień znajdujących się na pograniczu astronomii geodezyjnej i elektroniki, warto może omówić krótko sprawy związane z odbiorem sygnałów czasu i częstotliwości oraz ich propagacji.

Należy tutaj zaznaczyć, że całość niniejszej pracy mogła powstać jedynie dzięki ścisłej współpracy Katedry Urządzeń Radiotechnicznych i Telewizyjnych Politechniki Warszawskiej z Zakładem Astronomii Geodezyjnej Instytutu Geodezji i Kartografii.

W tym też miejscu pragnąłbym wyrazić głęboką wdzięczność i podziękowanie Panu Profesorowi J. Radeckiemu za pomoc w opracowaniu niniejszej pracy i naukowy nadzór nad nią, Panu Profesorowi S. Hahnowi — za udzielenie szeregu cennych rad i wskazówek oraz Pani Inżynier B. Majewskiej — za pomoc w opracowaniu bardzo dużego materiału obserwacyjnego, części obliczeniowej oraz wykresów.

Rozdział I

1. Systemy radiowych sygnałów czasu i częstotliwości

Sygnały czasu służą do porównań wzorców częstotliwości w dziedzinie czasu drogą radiokomunikacyjną. Jak wykazały badania [7] z końca lat pięćdziesiątych, prowadzone wspólnie przez Uniwersytet Cambridge Massachusetts oraz National Physical Laboratory w Teddington, porównania wzorców drogą radiokomunikacyjną były w ówczesnym stanie techniki prawie równorzędne porównaniom bezpośrednim. Badania te polegały na przewożeniu wzorców przez Atlantyk, porównywaniu bezpośrednim, a następnie na porównywaniu drogą radiokomunikacyjną. Przy okazji placówki te prowadziły badania nad wpływem efektu Dopplera na porównania poprzez emisje radiowe. Obecnie, po wprowadzeniu portatywnych wzorców cezowych, porównania bezpośrednie dają znacznie lepsze wyniki [1], [8].

W 1947 roku Kongres UIT w Atlantic City przyznał Służbom Czasu i Częstotliwości Wzorcowych następujące pasma częstotliwości: 20 kHz, 2,5, 5, 10, 15, 20 i 25 kHz [4]. Istnieje jednak szereg stacji emitujących zarówno sygnały czasu, jak i częstotliwości na zakresach nie objętych wyżej wymienionymi pasmami.

Obecnie przyjęło się ogólnie nadawanie sygnałów czasu w układzie angielskim z pewnymi modyfikacjami jak np. w wypadku stacji HBG, OMA, OLB i DIZ, które emitują sygnały sekundowe w czasie średnim słonecznym w ciągu całej doby. Stacje nadające sygnały czasu emitują zazwyczaj częstotliwość wzorcową, zdarzają się jednak wyjątki, jak np. stacja ROR [9], która emitowała sygnały czasu z dokładnością o dwa rzędy wyższą niż dokładność jej częstotliwości nośnej. Szereg stacji stosuje system emisji zadowalający w równej mierze służby czasu i częstotliwości, i tak np. stacja RES przez 5 minut w ciągu godziny emituje sygnał angielski, a przez pozostałe 55 minut — sygnał ciągły nie modulowany, natomiast stacja HBG [5] emituje przez całą dobę sygnały sekundowe o odwrotnym kształcie, który jest dużo wygodniejszy przy porównaniach częstotliwościowych oraz synchronizowaniu wzorców drogą radiową.

Sygnały czasu nadawane są zazwyczaj poprzez modulację amplitudy z głębokością modulacji 100%. Idealny sygnał czasu powinien mieć kształt prostokąta, przy czym w czasie przerwy między impulsami powinien nastąpić całkowity zanik sygnału. W praktyce jednak odbiega on znacznie od kształtu idealnego i doznaje wielu skażeń w urządzeniach nadawczych i odbiorczych oraz w torze radiokomunikacyjnym. Najważniejszym odchyleniem od kształtu idealnego jest nachylenie czołowego zbocza impulsu,

które zależnie od swej wielkości ma duże znaczenie przy odbiorze sygnałów czasu.

Jak wiadomo z podstaw radiokomunikacji, przesyłanie drogą radiową sygnałów o małych częstotliwościach (w wypadku sygnałów czasu mamy do czynienia z częstotliwością 1 Hz) nie jest możliwe bezpośrednio, lecz



Rys. 1. Impuls idealny i rzeczywisty

poprzez zmodulowanie tzw. fali nośnej o znacznie większej częstotliwości. Fala nośna o ile ma dostatecznie dobrze stabilizowaną częstotliwość jest wykorzystywana do porównania wzorców w dziedzinie częstotliwości [36].

Część zniekształceń impulsu powstaje w układach kształtujących, w modulatorach oraz w obwodach antenowych stacji nadawczej. Skażenia powstające w torze nadawczym stanowią jednakże niewielki procent zniekształceń i jeśli chodzi o tzw. czas narastania impulsu, nie przekraczają wielkości kilkunastu mikrosekund.

Znacznie większe zniekształcenia czoła impulsu powstają w urządzeniach odbiorczych. Dla gorszych odbiorników mogą one sięgać kilkunastu milisekund. Z uwagi na większe zniekształcenia zbocza stanowiącego koniec impulsu, na ogół jako znacznika czasu używa się przedniego zbocza impulsu. Po stronie odbiorczej w czasie przerwy między sygnałami czasu występuje na wyjściu napięcie szumów.

Sygnały czasu stacji nadawczej są formowane zazwyczaj w układach elektronicznych, które są sterowane przez dostatecznie dokładny zegar i w związku z tym są odzwierciedleniem chodu tego zegara. W obecnym czasie zegarem takim jest zespół wzorców kwarcowych, sterowany przez wzorce atomowe lub okresowo do ich chodu dostrajany. Układy sterowania muszą posiadać bardzo duże stałe czasu, aby przestrojenie nastąpiło dopiero po zmianie drgań generatora wtórnego, utrzymujących się przez dostatecznie długi okres czasu. Jako wzorce podstawowe stosowane są najczęściej rezonatory cezowe lub rubidowe.

1.1. Jednostka oraz stosowane systemy czasu

W ostatnim czasie w związku z podniesieniem dokładności wzorców częstotliwości do rzędu 10^{-12} [1], [2] oraz stwierdzeniem, że obrót Ziemi nie może być miarą czasu ściśle jednostajnego, sprawa zapewnienia równomierności przebiegu czasu i jego jednostki nabrała dużego znaczenia,

W zagadnieniach mechaniki nieba występuje jako zmienna niezależna tzw. czas efemeryd [3]. Jest on jednostajny jednakże jego praktyczna przydatność jest niewielka ze względu na to, że może on być wyznaczony dla danego okresu dopiero po jego upływie.

Obowiązującą jednostką czasu ustaloną przez Międzynarodową Konwencję Miar na wniosek Unii Astronomicznej jest sekunda efemeryd stanowiąca 1 : 31 556 925,9747 roku zwrotnikowego 1900, I, 0^d, 12^h TE [4].

Dla praktycznych celów służb czasu od roku 1964 Międzynarodowe Biuro Czasu w Paryżu zgodnie z zaleceniami 31 Komisji UAI, Zebrania Generalnego URSI oraz Zebrania Generalnego CCIR określa sekundę efemeryd jako 9 192 631 770 okresów drgań rezonatora cezowego [4], [5].

Dla służb sygnałów czasu przyjęto czas atomowy A3, który został wyliczony i wprowadzony o 1958 r. jako średnia wartość wskazań trzech pierwszych wzorców atomowych, odznaczających się najwyższą w tamtym czasie stabilnością tj. NBS USA, NPL Anglia i LSRH Szwajcaria. Od roku 1966 czas atomowy A3 jest wyliczany ze wskazań większej ilości wzorców, jednakże nie są one traktowane równorzędnie i w obliczeniach przyjmuje się dla nich różne wagi. Najwyższą wagę 5 posiada wzorzec NBS, a od roku 1967 również z wagą 2 jest przyjmowany wzorzec NRC Kanada. Pozostałe wzorce mają wagę równą jedności. Analizując odchylenia wskazań poszczególnych wzorców tworzących czas A3, można stwierdzić, że chód wzorców NBS i NRC jest w obecnej chwili rzeczywiście najbardziej stabilny.

Ze względu na dosyć dużą rozbieżność czasu atomowego A3 oraz czasu uniwersalnego prawie jednostajnego TU2, używa się w praktyce czasu skoordynowanego TUC ustalanego okresowo wg wzoru:

$$TUC = A3(1+S)+B \quad (1)$$

przy dodatkowym warunku:

$$TU2 - TUC \leq 100 \text{ msek} \quad (2)$$

przy czym stała wartość B jest równa zero dla daty 1.1.1958 0^h TU, natomiast liczba $S = n \cdot 50 \cdot 10^{-10}$, gdzie n jest ustalane okresowo przez BIH.

Dla okresu do 1966 r. zostało przyjęte $n = 3$, jednakże wartość ta okazała się zbyt mała i czasy TU2 i TUC zaczęły się rozchodzić do tego stopnia, że w ciągu 1,5 roku trzeba było wykonać 6 skokowych przesunięć fazy we wszystkich nadajnikach emitujących sygnały w czasie skoordynowanym. Ze względu na niedogodność tych operacji dla lat 1956—69 przyjęto $n = 6$, co dało lepszą zgodność TU2 i TUC [5], [10], [11], [12].

Oprócz czasu skoordynowanego stosuje się również czas atomowy skokowy TAS. Charakteryzuje się on tym, że chód wzorca realizującego ten

czas pozostaje nie zmieniony, natomiast po dojściu do różnicy TU2 i TAS — 200 msek, zmienia się wskazanie wzorca skokowo. W światowej służbie czasu pracują jedynie dwie stacje nadające sygnały czasu w systemie TAS.

Sformowanie czasów TUC i TAS jest przykładem zbliżenia czasu atomowego do uniwersalnego w dziedzinie częstotliwości oraz w dziedzinie czasu.

Różnice między czasami TUC i TU2 są podawane w publikacjach BIH. Przejście z czasu TAS do TU2 dokonuje się poprzez porównanie z czasem A3. Mając te wielkości można w praktyce astronomii geodezyjnej korzystać z czasów atomowych dzięki możliwości przejścia do czasów ziemskich.

Czasy TU1 i TU2 są poprawione w stosunku do TUC o wielkości $\Delta\lambda$ i $\Delta T_s + \Delta\lambda$, wynikające z ruchów bieguna i nierównomierności ruchu obrotowego Ziemi. Wprowadzenie czasów TU1 i TU2 było kolejnymi etapami na drodze do czasu jednostajnego.

Zrozumiałe jest, że czas TU2 nie może być używany do wyznaczania kąta godzinnego, gdyż czas ten obrazuje średnią prędkość obrotu Ziemi. Czasem, który obrazuje kąt obrotu Ziemi dokoła osi średniej jest czas TU1. Czas TU0 obrazuje kąt obrotu dokoła osi chwilowej. Użycie go do wyznaczenia kąta godzinnego zmuszałoby geodetów do wprowadzania poprawek do współrzędnych miejsca obserwacji.

Zależnie od publikowanych stabilności zegarów sterujących nadawaniem sygnałów czasu, można przeprowadzić orientacyjną klasyfikację sygnałów. Nie jest ona jednak dostatecznie ścisła, gdyż należy uwzględnić lokalne warunki odbioru, które mogą spowodować, że jeden z najlepszych sygnałów będzie dla danego odbiorcy najgorszy. Stabilność zegarów wyznacza się zazwyczaj według kryterium Humphry — Smith'a i Guyot'a bądź też według względnej odchyłki częstotliwości na pewien okres czasu, np. dobę lub miesiąc. Stacja HBG nadająca sygnały czasu, podaje w swych publikacjach stabilność dobową wynoszącą $10^{-10} \div 10^{-11}$ [13]. W mierze czasowej oznacza to, że w ciągu doby sygnał wyemitowany nie powinien zmienić się w stosunku do TUC więcej niż $0,9 \div 8,6$ mikrosekund. Taka sama stabilność charakteryzuje stacje angielskie, francuskie i amerykańskie, natomiast nieco gorsza jest dla stacji czeskich i niemieckich.

1.2. Propagacja sygnałów czasu oraz wynikające z niej poprawki

W rozważaniach dotychczasowych zostały całkowicie pominięte uwagi dotyczące stacji krótkofalowych oraz zagadnień związanych z emitowanymi przez nie sygnałami czasu, ponieważ w najbardziej dokładnych pracach służby czasu nie korzysta się zazwyczaj z emisji krótkofalowych. Dzieje się tak z dwu powodów. Pierwszy dotyczy natury rozchodzenia się

fal krótkich. Jak wiadomo [15], [36] w ich propagacji główną rolę gra fala jonosferyczna, która na drodze od stacji nadawczej do odbiornika ulega kolejnym odbiciom od Ziemi i od odpowiedniej warstwy jonosfery. W związku z tym nie można mieć pewności jaką drogę przebywają fale od stacji do odbiornika.

Drugą przyczyną jest znacznie większa podatność fal krótkich na efekt Doppler'a. Efekt ten polega na zmianie częstotliwości wskutek zmian gęstości jonizacji w górnych warstwach atmosfery. Zjawisko to wg ogólnie przyjętej terminologii radiokomunikacyjnej przez analogię do właściwego efektu Doppler'a nosi taką samą nazwę.

Ilościowy wpływ tego zjawiska można w przybliżeniu wyrazić wzorem

$$\Delta f = 2f_0 \frac{V_z}{C}, \quad (3)$$

gdzie Δf oznacza zmianę rozpatrywanej częstotliwości f_0 , C — prędkość fali elektromagnetycznej w próżni, V_z — szybkość zmiany skutecznej wysokości warstwy jonosferycznej [36].

Z wzoru tego widać, że fale ultradługie reagują znacznie mniej na efekt Doppler'a. Zmiana częstotliwości fali pociąga za sobą przesunięcie fazy, które w całości wchodzi jako błąd pomiaru. Duże zmiany jonizacji w górnych warstwach atmosfery zachodzą głównie o zmierzchu i o świcie. Z tego względu efekt Doppler'a ujawnia się głównie przy transmisjach na duże odległości, gdy fala przechodzi z części oświetlonej kuli ziemskiej na nie oświetloną i odwrotnie. Jednakże badania [4] prowadzone przez Laboratoire de l'Horloge Atomique w Paryżu nad emisją GBR wykazały systematyczne zmiany związane z porą doby i roku wynoszące 0,1 msek, mimo drogi fali rzędu 500 km i niewielkiej różnicy długości geograficznej. Przy transmisjach transatlantyckich, podczas uprzednio wspomnianych porównań prowadzonych przez Uniwersytet Cambridge i NPL, dobowe zmiany wynikłe z efektu Doppler'a wynosiły około 0,04 msek. Natomiast przy porównaniach na odległościach równych połowie obwodu kuli ziemskiej, różnice dochodziły do 0,2 msek [7].

Znaczny wpływ na propagację sygnałów czasu mogą mieć burze jonosferyczne występujące podczas transmisji. W toku różnych doświadczeń otrzymywano przesunięcia fazy wynoszące 8 msek, co już jest bardzo dużą wielkością przy obecnie osiąganym dokładnościach [16].

Wadą emisji długofalowych jest dosyć duży poziom szumów wynikający stąd, że większa część energii wyładowań atmosferycznych jest promieniowana z częstotliwością odpowiadającą falom długim i ultradługim [16].

Obecnie emisje długofalowe wykorzystuje się głównie do porównań stacjonarnych [17], natomiast z emisji krótkofalowych korzysta się częściej

w warunkach polowych, gdzie ze względu na stosowanie mniej dokładnych zegarów porównania należy przeprowadzać znacznie częściej. Dużą rolę gra tu mała sprawność urządzeń pracujących na falach długich i w związku z tym stacje tego rodzaju przeważnie nadają sygnały czasu tylko kilka razy w ciągu doby. Jest natomiast szereg stacji krótkofalowych, które emitują sygnały sekundowe w ciągu całej doby.

W związku z podniesieniem dokładności odbioru sygnałów czasu i wprowadzeniem oscylografów, można się przekonać o fluktuacjach fazy sygnałów krótkofalowych, których obrazy oscylują na ekranie w okolicy podstawowego indeksu, czego dla sygnałów długofalowych nie dostrzega się.

Przy redukcji obliczeń wprowadza się poprawki propagacyjne wyrażające opóźnienie sygnału związane z czasem przejścia sygnału od stacji nadawczej do odbiornika. Dotychczas powszechnie korzystano z zależności podanych przez N. Stoyko [18], który na podstawie około 6700 odbiorów wyprowadził empiryczne zależności oraz podał prędkości fali elektromagnetycznej dla różnych warunków odbiorczych. Według formuł N. Stoyko przy korzystaniu z fal długich należy rozpatrywać falę prowadzoną między powierzchnią ziemi i jonosferą o prędkości 252 000 km/sek. Dla fal krótkich należy rozpatrywać poprawkę w zależności od odległości stacji nadawczej od odbiornika. Rozważane są trzy przedziały: do 100 km, od 100 do 1000 km i powyżej 1000 km. Dla pierwszego przedziału N. Stoyko przyjął prędkość fali — 274 tys. km/sek, dla drugiego — 274 i 286 (przy odbiciu) tys. km/sek oraz dla trzeciego przedziału prędkość fali wylicza się z następującego wzoru:

$$V = \left(290 - \frac{139,41}{D + 2,90} \right) \cdot 10^3 \text{ km/sek}, \quad (4)$$

gdzie D jest odległością od stacji do powierzchni Ziemi.

Ostatnio [19], w związku ze zwiększeniem dokładności odbioru sygnałów, prowadzone są dalsze badania poprawek propagacyjnych i są już dane, że wielkości obliczane wg zaleceń Stoyko są obarczone systematycznymi błędami wynikającymi z tego, że przy opracowywaniu swych formuł korzystał on z mało dokładnych chronografów bębnowych. Według danych radzieckich, przy porównaniach na dystansie 2700 km, różnica między rzeczywistą poprawką propagacyjną, a obliczoną z wyżej podanych formuł wyniosła 0,6 msek dla fal o częstotliwości około 10 MHz. Również dla fal długich przy odległości 4000 km doświadczalnie wyznaczona prędkość rozchodzenia się fali różni się o tyle od poprzednio przyjętej, że wynikająca różnica w poprawce propagacyjnej wynosi 3,5 msek.

Poza tym w trakcie badań czasu propagacji fal krótkich na odcinku Praga—Tokio [20] prowadzonych przez okres siedmiu lat stwierdzono,

że czas propagacji zmalał o około 1 msek przy wartości rzędu 30 msek. Krzywa jego zmiany jest przy tym bardzo zbliżona do krzywej zmian liczby Wolf'a dla tego okresu.

R o z d z i a ł II

2. Przegląd metod odbiorów sygnałów czasu i częstotliwości

2.1. Metody wizualno-suchowe

Najprostszy sposób odbioru sygnałów czasu polega na jednoczesnym obserwowaniu tarczy zegara i nasłuchu sygnałów sekundowych. Przez odpowiednie skojarzenie wrażeń wzrokowych i słuchowych można wyprowadzić poprawkę zegara. Dokładność uzyskiwana tutaj zależy głównie od doświadczenia obserwatora i wynosi od 0,5 do 0,1 sek. Dla zwiększenia dokładności odbiorów tą metodą wprowadzono tzw. sygnały rytmowe. Sposób ich nadawania wygląda następująco: przez 60 sekund nadaje się 61 impulsów w równych odstępach czasu. Dzięki temu w ciągu jednej minuty jest tylko jeden moment, gdy impuls sygnału może koincydować z uderzeniem zegara. Po zaobserwowaniu tego momentu można wyliczyć poprawkę zegara z dużo wyższą dokładnością, bo około 0,01 sek.

Należy wspomnieć tutaj jeszcze o metodzie Cooek'a-Prejpiča, [35] [37], która polega na wykorzystaniu specjalnej przystawki pozwalającej na nasłuch sygnałów radiowych przez słuchawki przy zwarcu i rozwarciu obwodu przez kontakt chronometru. Metodą tą można porównywać jedynie chronometry kontaktowe idące w innym czasie niż sygnał radiowy, a więc np. chronometr idący w czasie gwiazdowym z sygnałami angielskimi.

2.2. Metody polegające na reakcji układów elektrycznych na wzrost poziomu napięcia

Sygnały rytmowe zostały w obecnej chwili prawie zupełnie zarzucone w związku z wprowadzeniem nowocześniejszych urządzeń do porównań w dziedzinie czasu.

Duża liczba sposobów odbiorów jest związana z tymi właśnie urządzeniami, a mianowicie wszelkiego rodzaju chronografami i ich odmianami. Działanie chronografu polega na przesuwaniu ze stałą prędkością papieru względnie innego materiału, na którym wskazania mogą być zanotowane, oraz zapisywaniu momentu pojawienia się impulsu przez rylec uruchamiany elektromagnesem wyzwalanym przez impuls. W zależności od typu chronografu prędkość przesuwu papieru jest różna i wynosi od 1 cm/sek

przy chronografach taśmowych do 50 cm/sek przy cylindrycznych. Różny jest też sposób zachowania stałej prędkości przesuwu papieru, od normalnego mechanizmu zegarowego w chronografach taśmowych do silnika synchronicznego sterowanego przez zegar kwarcowy przy chronografach cylindrycznych.

Chronografy taśmowe jako narzędzia lekkie i portatywne znajdują w chwili obecnej zastosowanie głównie w pracach polowych, chociaż i tutaj używa się już nowsze przyrządy. Chronograf taśmowy dla jasności zapisu posiada przeważnie parę piórek zapisujących swe ścieżki. Impuls prądu powoduje przesunięcie pióra w kierunku prostopadłym do przesuwu taśmy i w ten sposób zaznaczony zostaje wybrany moment czasu. Na drugiej ścieżce wyryte są impulsy sekundowe z chronometru. Porównując znaki na jednej ścieżce ze znakami na drugiej można ocenić czas wybranego momentu. Jeśli chodzi o chronografy wielopiórowe, należy wspomnieć o zjawisku paralaksy, które powoduje, że ten sam moment jest zapisywany przez oba pióra na taśmie w punktach nie odpowiadających jednemu czasowi. Błąd ten ma swe źródło w geometrycznym ustawieniu piór oraz niejednorodności układu elektrycznego obu piór. Paralaksę eliminuje się poprzez przełączanie piór w połowie obserwacji lub sygnału. Wynik średni jest wolny od błędu paralaksy.

Dokładniejszym przyrządem od chronografu taśmowego jest chronograf cylindryczny. Posiada on bęben w kształcie cylindra z nałożonym papierem. Bęben ten obraca się raz na sekundę napędzany przez silnik synchroniczny. Obwód bębna wynoszący 0,5 m daje przesunięcie jednej milisekundy równe 0,5 mm, a więc wielkość stosunkowo dużą. Piórko rysujące posiada tylko jedno i do niego doprowadza się wszelkie sygnały. Chronograf cylindryczny jest przyrządem wybitnie stacyjnym podobnie jak inna modyfikacja chronografu zwana ondulatorem [37].

W przeciwieństwie do chronografów reagujących na zmiany prądu od zera do określonej wartości, reaguje on na dowolne zmiany prądu w związku z czym może być włączony w obwód anody końcowej lampy co eliminuje konieczność stosowania przekaźników, które wprowadzają dodatkowe przesunięcia fazy. Ondulatory są budowane w układach analogicznych do mierników elektromagnetycznych i magnetoelektrycznych, przy czym drugie rozwiązanie posiada większą czułość i mniejszą bezwładność.

Wszystkie układy opierające się na działaniu sił pola elektromagnetycznego posiadają pewne wspólne własności wynikające z ich konstrukcji. Mianowicie siła działająca na element ruchomy jest równa:

$$F = I \cdot B \cdot S \cdot n \quad (5)$$

gdzie I oznacza przepływający prąd, B — indukcję własną materiału, S — powierzchnię obejmującą linie pola magnetycznego oraz n — ilość zwojów

cewki. Widać więc, że zwiększanie czułości przyrządu można przeprowadzić poprzez zwiększanie prądu oraz ilości zwojów. Zmiana indukcyjności własnej cewki jest proporcjonalna do kwadratu ilości zwojów

$$L = k n^2. \quad (6)$$

Indukcyjność oraz oporność obwodu decydują o wielkości stałej czasu obwodu równającej się

$$\tau = R : L. \quad (7)$$

Jak więc widać podnoszenie czułości prowadzi do zmniejszania stałej czasu, a zatem do zmniejszania przesunięcia fazy układu rejestrującego; wymaga jednak zwiększania prądu i co za tym idzie — wzmocnienia odbiornika.

Chronografy taśmowe pozwalają rejestrować momenty z rozbieżnościami sięgającymi 0,05 sek [21], a chronografy cylindryczne — do około 5 msek, jednakże ich dokładność w dużej mierze zależy od kształtu impulsu wyzwalającego przełącznik. Jest to tym bardziej ważne, że rejestrowane impulsy mają rozmaite kształty i tak np. impuls z odbiornika radiowego i aparatury fotoelektrycznej do rejestracji przejść gwiazd mają silnie nachylone zbocza, natomiast impuls zegara i z mikrometru bezosobowego jest zbliżony do prostokątnego.

Duża pracochłonność związana z opracowaniem materiałów z chronografu taśmowego doprowadziła do skonstruowania chronografów drukujących. Można je podzielić na dwie zasadnicze grupy, mianowicie według sposobu realizacji skali czasu. Częściej spotykane są chronografy z realizacją mechaniczną, oparte na działaniu silnika synchronicznego sterowanego przez zegar kwarcowy i napędzającego ocyfrowane koła drukujące wybrany moment czasowy. Do tej kategorii przyrządów należą: konstrukcja Pruss'a, chronograf wykonany przez inż. Cierniewskiego oraz fotochronograf Brandta będący połączeniem chronoskopu oraz kamery fotograficznej [22], [35]. Chronografy Pruss'a i Cierniewskiego mają najmniejszą działkę równą 0,01 sek, a z dokładnością do dwu msek można dokonać odczytu przez szacowanie, natomiast fotochronograf Brandta pozwala dokonywać odczytów z dokładnością do 0,001 sek.

Druga grupa chronografów drukujących opiera się na elektronicznej realizacji skali czasu. Do grupy tej należy chronograf firmy Belin. Jest to konstrukcja będąca właściwie połączeniem obu grup, gdyż elektroniczna realizacja dotyczy tylko setnych i tysięcznych części sekundy, natomiast wskazania od dziesiątych części sekundy do dziesiątek minut są realizowane w sposób mechaniczny za pomocą silnika synchronicznego. Moment, w którym przychodzi impuls, zostaje zanotowany w bloku pamięci i dopiero po pewnym czasie zostaje uruchomiony mechanizm drukujący. Chro-

nograf ten pozwala na rejestrację z dokładnością do jednej msek. Nowsze rozwiązania oparte o technikę półprzewodników posiadają całkowicie elektronową realizację skali czasu.

Jednym z dokładniejszych przyrządów do odbioru sygnałów czasu, do niedawna powszechnie używanym jest tzw. chronoskop będący pewną odmianą stroboskopu. Zasada jego działania jest następująca: silnik synchroniczny obraca raz na sekundę poprzez przekładnię szklane koło podzielone na tysiąc działek. Pod kołem umieszczona jest lampa neonowa, która w wybranym momencie, sterowana przez spust elektronowy oświetla koło podziałowe silnym błyskiem, trwającym około kilkunastu mikrosekund. Dzięki krótkotrwałości błysku oraz bezwładności zmysłu wzroku uzyskuje się wrażenie zatrzymania się koła w stosunku do nieruchomego wskaźnika. W związku z tym można na kole podziałowym dokonać odczytu wybranego momentu czasowego. Lampa neonowa jest zapalana dzięki rozładowaniu kondensatora przez spust, w którym najczęściej stosuje się tyratron ze względu na jego małą oporność wewnętrzną w momencie zapłonu, pozwalającą zachować małą stałą czasu rozładowania, co powoduje krótki błysk. Stała czasu ładowania kondensatora musi być rzędu 0,05 sek, by nie wpływała na przedłużenie błysku, oraz by zapalenie lampy mogło odbywać się co najmniej kilka razy na sekundę. Jest to konieczne, gdyż często między impulsami sekundowymi sygnału występują impulsy zakłócające, wyzwalające spust i gdyby stała czasu ładowania była dłuższa niż 0,5 sek przy następnym impulsie sygnału nie można by było dokonać odczytu.

Ograniczenia dokładności chronoskopu wynikają przede wszystkim z błędów mechanizmu obrotowego oraz ze względu na przedłużenie się stałej czasu rozładowania w związku z zużyciem się elementów urządzenia.

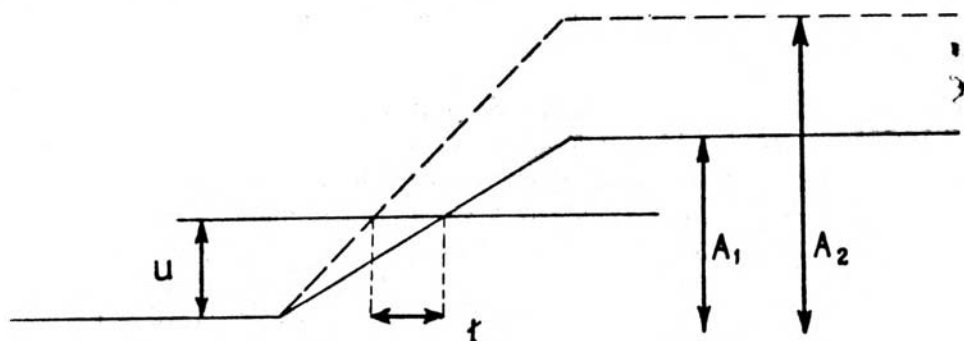
Przy wyzwalaniu chronoskopu, impulsem prostokątnym lub do niego zbliżonym, rozbieżności odczytów zawierają się w granicach 0,2 msek. Przesunięcie fazy układu spustowego jest stałe i wynosi około 0,05 msek.

Jeszcze dokładniejszym przyrządem do porównań w dziedzinie czasowej jest układ liczący sterowany generatorem wzorcowym 100 kHz. Układ ten mianowicie zlicza impulsy, które sam wytwarza dzięki przekształcaniu częstotliwości sterującej. Odstęp między kolejnymi impulsami wynosi 10 mikrosekund. Licznik jest uruchamiany np. przez impuls sygnału radiowego, a zatrzymywany przez impuls zegara. Ilość impulsów zliczonych w czasie pracy licznika pomnożona przez odstęp między kolejnymi impulsami daje przesunięcie czasowe między sygnałem radiowym, a impulsem zegara. Liczniki tego typu dają dużą dokładność pomiaru rzędu 0,1 msek. Nadają się jednak wyłącznie do porównań bezpośrednich ze względu na bardzo dużą wrażliwość na zakłócenia. Jak wszystkie układy liczące posiada on na wejściu układ o małej stałej czasu, zamieniający każdy wzrost napięcia na ostry impuls szpilkowy fałszujący natychmiast pracę licznika.

Rejestracja sygnałów radiowych jest praktycznie niemożliwa nawet przy małym poziomie szumów.

2.3. Problem zmienności przesunięć fazy

Wszystkie przyrządy do odbioru sygnałów wymienione w poprzedniej grupie mają tę wspólną cechę, że reagują dopiero wtedy, gdy przyłożone do nich napięcie osiągnie tzw. próg zadziałania układu. Przyrządy tej grupy oprócz własnych stałych przesunięć fazy mogą w pewnych wypadkach przy współpracy z układem przekazującym impuls czasu, dawać zmienne przesunięcie fazy [23] (rys. 2). O ile więc zbocze impulsu czasowego posiada nachylenie, to jakkolwiek wzrost lub spadek amplitudy sygnału powoduje



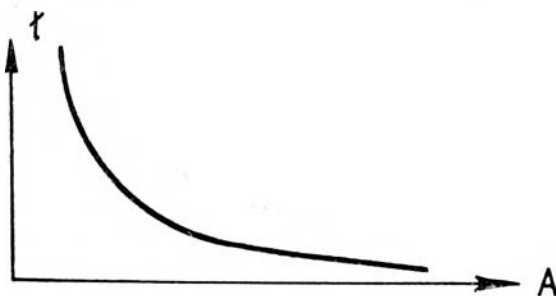
Rys. 2. Schemat wpływu amplitudy sygnału na moment rejestracji

zmianę przesunięcia fazy. Jest to tym bardziej ważne, że odbiorniki radiowe dla celów astronomicznych nie posiadają zazwyczaj członu automatycznej regulacji wzmocnienia i w związku z tym zmiany amplitudy sygnału są bardzo częste. Analogiczne zjawisko można zaobserwować przy pracy z urządzeniem fotoelektrycznym do rejestracji przejść gwiazd, gdzie w wypadku wzrostu amplitudy sygnału, wyniki ulegają zupełnemu sfalszowaniu. Badanie przesunięć fazy dowodzi, że w zależności od amplitudy sygnału przesunięcie ma przebieg hiperboliczny.

Nasuwa się więc wniosek, że ze wzrostem amplitudy przesunięcie fazy maleje. Widoczne jest również, że w wypadku przykładania impulsu prostokątnego przesunięcie fazy będzie równe zero.

Czas narastania w normalnych odbiornikach długofalowych jest rzędu 10 msek. Przyjmując amplitudę napięcia wyjściowego rzędu 10 V otrzymujemy nachylenie zbocza 1 V/msek. O ile więc poziom zadziałania układu jest zachowany z dokładnością do 1 V to z tej strony już można oczekiwać błędu wynoszącego 1 msek.

Z powyższego warunku można również ocenić wielkość błędu wynikającego z wahań amplitudy sygnału. Przy ustalaniu poziomu zadziałania wysokości impulsu sygnału radiowego na 1 : 3, stłumienie tego impulsu o 25% daje przesunięcie fazy wynoszące 1 msek, natomiast stłumienie



Rys. 3. Wykres przesunięcia fazy w funkcji amplitudy sygnału

o 50%, co czasem ma miejsce w praktyce, przesuwają fazę aż o 4 msek. Ustalenie mniejszego poziomu zadziałania układu poprawia sytuację w tej dziedzinie, jednakże układ staje się bardziej czuły na zakłócenia.

Jak więc widać, przy dokładnych rejestracjach sygnałów czasu należy korzystać z odbiorników radiowych o dobrze ustabilizowanej charakterystyce amplitudowej i fazowej. Poza tym, ze względu na wąskie pasmo i silne nachylenie zbocza należy pracować przy dużych wzmocnieniach.

Przesunięcia fazy układu odbiornik — urządzenie rejestrujące powinno być w zasadzie każdorazowo wyznaczane. Dokonuje się tego poprzez modulowanie impulsami z zegara sztucznej fali nośnej z dodatkowego generatora lub też ciągłego sygnału stacji radiowej. Przesunięcie fazy wyznaczane z sygnału ciągłego stacji radiowej jest zazwyczaj mniejsze ze względu na szumy atmosferyczne.

Wyżej opisane przesunięcia fazy są rzędu 5 msek i mają znaczenie tylko w wypadku korzystania z dokładniejszych przyrządów tej grupy jak chronografy drukujące i chronoskopy natomiast są zupełnie nieistotne dla chronografów taśmowych.

2.4. Metody oscylograficzne

Mała dokładność poprzednio opisanych metod odbiorów oraz trudności wyeliminowania zakłóceń doprowadziły do zastosowania oscylografów przy odbiorze sygnałów czasu. W stosunku do metod poprzednich, metody oscylograficzne posiadają szereg zalet. Najważniejszą cechą jest możliwość obserwacji impulsu sygnału na ekranie i w związku z tym nawet

przy dość dużym poziomie zakłóceń można stosunkowo łatwo umiejscowić sygnał na ekranie. Poza tym przyjmując za punkt odniesienia początek impulsu można się całkowicie uniezależnić od wpływu amplitudy sygnału na moment jego zarejestrowania.

W oscylografach znajdują zastosowanie lampy ekranowe o odchyleniu elektrostatycznym w związku z czym układy przeniesienia mają małe stałe czasu dzięki czemu przesunięcia fazy są mniejsze niż w poprzednich układach. Metody oscylograficzne przyniosły znaczne podniesienie dokładności, a szczególnie w wypadku porównań bezpośrednich.

Przy odbiorach sygnałów radiowych ograniczenie dokładności leży głównie w warunkach propagacji i w czasie przejścia sygnału przez tor radiokomunikacyjny. Dokładność zarejestrowania wynoszącą 0,1 msek jest łatwo uzyskać, jednakże należy zwracać uwagę na stałość przesunięć fazy urządzenia odbiorczego we wszystkich jego stopniach. Przy porównaniach bezpośrednich między wzorcami zupełnie łatwo uzyskuje się dokładność wynoszącą kilka mikrosekund.

Badania nad możliwością zastosowania metod oscylograficznych rozpoczęto w połowie lat pięćdziesiątych. Pierwsze eksperymenty dokonywane były przy wykorzystaniu normalnych oscylografów laboratoryjnych po odpowiednich przeróbkach. Układy te były dosyć prymitywne, gdyż w latach tych były trudności z dzielnikami elektronowymi dzielącymi do 1 Hz. Wykorzystywano do tego celu silniki synchroniczne dające impulsy z kontaktów mechanicznych. Ponieważ nie osiągały one większej dokładności niż 0,5 msek, więc przyrząd nie mógł dawać dużych dokładności wskutek mało precyzyjnego sterowania.

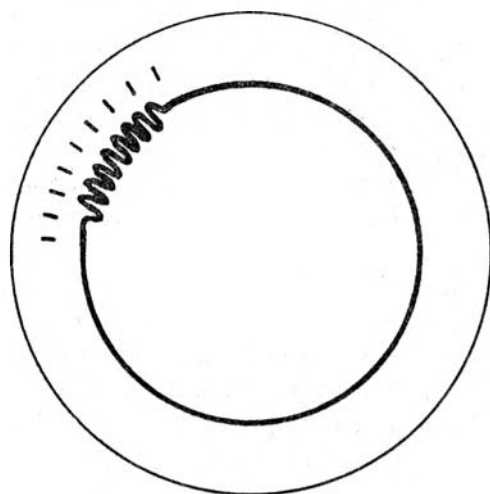
Częstotliwość 1 Hz w oscylografach tego rodzaju odgrywa decydującą rolę, gdyż muszą one mieć synchronizowaną podstawę czasu o okresie 1 sekundy, ze względu na powtarzalność impulsów sygnału czasu co sekundę. Również dużo trudności nastręcza przesunięcie impulsu w całym zakresie jednej sekundy.

Jednym z pierwszych rozwiązań była konstrukcja opracowana przez P. Parcelier'a, [24]. Rozwiązanie to polegało na wyzwaleniu podstawy czasu za pomocą silnika synchronicznego oraz przesuwaniu fazy przez obrót statora silnika synchronicznego. Drugie rozwiązanie tego układu różniło się użyciem dekatronowego przesuwnika fazy. Oba te układy dawały dokładność 0,1 msek. Analogiczne urządzenie zostało skonstruowane w Geodezyjnym Instytucie w Poczdamie [25].

Zasługująca na uwagę konstrukcja została opracowana w Obserwatorium w Charkowie [26]. Dzięki specjalnemu zastosowaniu silnika synchronicznego uniknięto konieczności stosowania przesuwnika fazy. Najbardziej ogólny schemat wygląda następująco:

Jako lampa ekranowa użyta została okrągła lampa telewizyjna o od-

chyłaniu prądowym. Cewka odchylająca promień została umieszczona na szyjce lampy w ten sposób, by mogła się obracać dookoła osi geometrycznej lampy. Przez cewkę płynie stały prąd odchylający promień. W wyniku tego przy obrocie cewki na ekranie promień rysuje koło o promieniu nieco mniejszym niż promień lampy. Jeżeli teraz cewka będzie obracana przez silnik synchroniczny z prędkością 1 obrotu na sekundę, to po przyłożeniu do cewki impulsu sygnału sekundowego będzie on odwzorowywany na ekranie stale w tym samym miejscu. Obwód koła został podzielony na tysiąc działek w związku z czym przesunięcie o jedną działkę odpowiada jednej milisekundzie. Urządzenie to posiada przekładnię umożliwiającą taki obrót cewek, by mogły być odbierane sygnały rytmowe. Dokładność odbioru została określona na 0,3 msek. W stosunku do innych układów urządzenie to ma większą stałą czasu ze względu na prądowe odchyłanie. Poza tym mimo dużej średnicy lampy wielkość odcinka odpowiadającego jednej milisekundzie jest ograniczona rozmiarami ekranu co obniża dokładność odczytu. Obraz na ekranie lampy ilustruje rysunek 4.

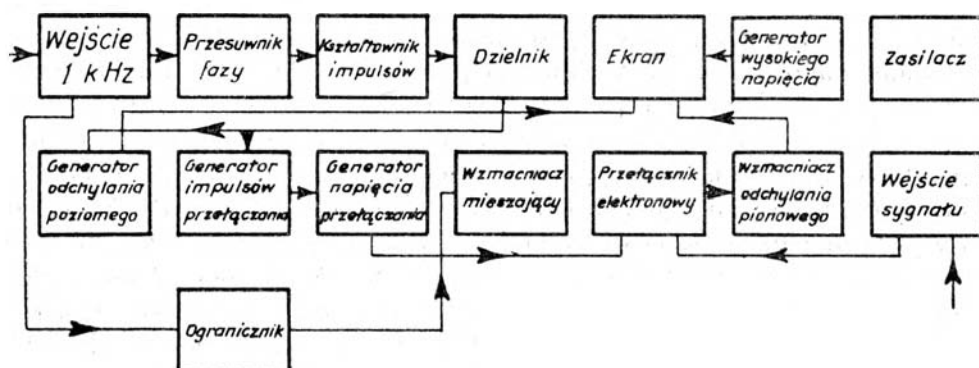


Rys. 4. Obraz na ekranie oscylografu
skonstruowanego w Charkowie

Dopiero ostatnio w związku z rozpowszechnieniem się dzielników dekadowych półprzewodnikowych, opracowano szereg udanych rozwiązań. Najbardziej z nich znane są dwa przyrządy wyprodukowane przez firmę Rohde-Schwarz-BN 7811 i 7812 [27].

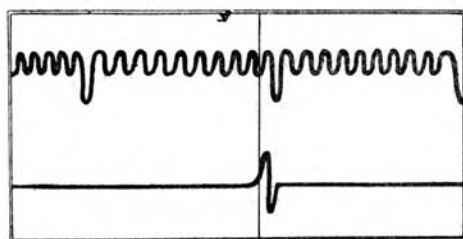
W obu oscylografach zostały zastosowane dzielniki pracujące w układzie piątkującym z dwustabilnym multiwibratorem na końcu. Pracują one bardzo sprawnie i nie zauważono żadnych przeskoków fazy. Najważniejszą częścią obu oscylografów jest zastosowany specjalny przesuwnik fazy poz-

walający przesunąć przebieg o dowolną ilość okresów. O ile więc w rozwiązaniach francuskim i radzieckim jednemu obrotowi przesuwника odpowiadało przesunięcie o 1 sek, to w oscylografach BN 7811 — jeden obrót przesuwника daje 1 msek, a w BN 7812 — 0,1 msek. Dokładność pomiaru przesunięcia fazy w związku z tym znacznie wzrosła. Oscylograf BN 7811 jest sterowany częstotliwością 1 kHz. Przebieg sterujący jest następnie podzielony przez trzydekadowy dzielnik i wyjściowa częstotliwość 1 Hz wyzwała podstawę czasu. Ze względu na zastosowanie lampy oscyloskopowej jednostrumieniowej zaistniała konieczność zrealizowania dosyć skomplikowanego przełącznika elektronowego, sterowanego również z układu dzielącego. Ogólny schemat układowy oscylografu BN 7811 przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. Schemat blokowy oscylografu BN 7811

Do oscylografu należy również doprowadzić częstotliwości 0,1 kHz i 10 kHz synchroniczne ze sterującą, dla wytworzenia szeregu znaczków pomiarowych. W wyniku działania wszystkich stopni na ekranie oscylografu otrzymuje się obraz zamieszczony na rysunku 6. W górnej części obrazu jest widoczny szereg znaczków pomiarowych, przy czym odstęp między dłuższymi wynosi 1 msek. Na dole obrazu jest widoczna linia, na



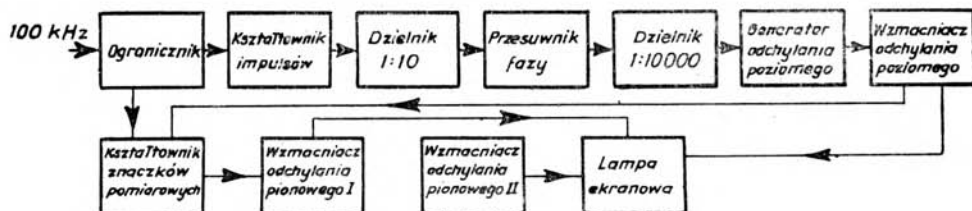
Rys. 6. Obraz na ekranie oscylografu BN 7811

którą wprowadza się sygnał radiowy lub impuls zegara. Przesuwnik jest sprzężony z licznikiem ocyfrowanym od 0 do 1000. W wypadku pomiaru ustawia się impuls zegara na kreskę odniesienia i kasuje licznik do 0. Następnie po ustawieniu za pomocą przesuwника sygnału radiowego na kreskę odniesienia, z licznika odczytuje się bezpośrednio poprawkę zegara w milisekundach, natomiast części milisekund z położenia sygnału względem znaczków pomiarowych. Ze względu na niewielką ilość działek licznika konstrukcja jego jest prosta i zerowanie nie przedstawia trudności.

W stosunku do oscylografów BN 7811, nowe rozwiązanie BN 7812 odznacza się znacznie uproszczoną budową oraz większą dokładnością. Częstotliwość sterująca wynosi 100 kHz. Po podzieleniu jej do 10 kHz jest przesuwana przez przesuwnik fazy i dzięki temu jeden jego obrót odpowiada przesunięciu czasowemu o 0,1 msek. Układ jest całkowicie tranzystorowany i posiada tylko jedną lampę ekranową. Dzięki zastosowaniu lampy dwustrumieniowej odpadł duży człon przełącznika elektronowego. Po przejściu przez przesuwnik, częstotliwość sterująca jest dzielona w pozostałych czterech dekadach do 1 Hz. Impulsy 1 Hz sterują podstawę czasu oraz modulują jasność ekranu. Lampa ekranowa posiada przedłużoną poświatę, jednakże w mniejszym stopniu niż w BN 7811, toteż przy modulacji jasności efekt migotania jest widoczny. Znaczkii pomiarowe są widoczne tylko przy najwyższym zakresie odchylenia poziomego oznaczonym 0,4 msek. Linia szeregu znaczków pomiarowych wygląda nieco inaczej niż w poprzednim oscylografie, mianowicie połowa jej jest linią poziomą (na której są odwzorowywane znaczkii pomiarowe), a druga połowa — sinusoidą o częstotliwości 1 kHz.

Ponieważ przesunięcie przebiegu o 1 sekundę odpowiada 10 tysiącom obrotów przesuwника fazy, wyzerowanie go nastręcza duże trudności. Częściowo unika się ich dzięki przystosowaniu przyrządu do ciągłej pracy. W związku z tranzystoryzacją układu praca ciągła nie jest szkodliwa, wyłącza się natomiast lampę ekranową by jej nie wyczerpywać oraz ograniczyć zużycie baterii zasilającej. Ogólny schemat układu jest podany na rysunku 7, a obraz przebiegów na ekranie na rysunku 8.

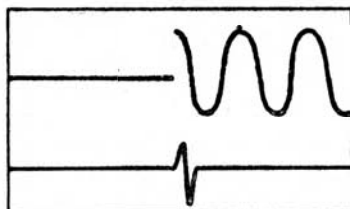
Przy przesuwaniu znaczka sygnałowego w dolnym szeregu, górny po-



Rys. 7. Schemat blokowy oscylografu BN 7812

zostaje nieruchomy w związku z czym uskok linii poziomej przy przejściu do sinusoidy jest wykorzystywany jako linia odniesienia.

Na tym można zakończyć przegląd obecnie stosowanych metod odbiorów sygnałów czasu. W chwili obecnej trwają badania i prace doświad-



Rys. 8. Obraz na ekranie oscylografu BN 7812

czalne nad porównaniami bezpośrednimi za pomocą przenośnych zegarów cezowych oraz nad wykorzystaniem sztucznych satelitów dla celów astrometrii i służby czasu, jednakże brak jeszcze jest dostatecznych danych na ten temat [1], [8].

2.5. Metody odbioru sygnałów częstotliwości wzorcowej

Z najnowszych publikacji wiadomo, że porównania wzorców można z dużą dokładnością przeprowadzać drogą radiokomunikacyjną. Dokładności porównań uzyskiwane w ten sposób wynoszą od $1 \cdot 10^{-10}$ do $1 \cdot 10^{-11}$.

Można rozróżnić trzy zasadnicze metody wyznaczania częstotliwości generatorów lokalnych z sygnałów przesyłanych drogą radiokomunikacyjną.

Teoretycznie najprostszym sposobem jest pomiar częstotliwości różnicowej powstałej przez odjęcie częstotliwości sygnału od częstotliwości lokalnej bądź odwrotnie. Praktycznie jednak sposób ten nie ma zastosowania z dwu powodów. Częstotliwość różnicowa jest wyznaczana na licznikach elektronowych, które są wrażliwe na zakłócenia i dlatego przy porównaniach radiokomunikacyjnych pomiar jej jest bardzo utrudniony. Poza tym przy metodzie tej wymagany jest jednakowy poziom sygnału. Jednakże stacje nadające częstotliwość wzorcową pracują zazwyczaj jako radiokomunikacyjne z modulacją A1. Ponieważ poziom sygnału w tym wypadku jest zmienny, pomiar częstotliwości różnicowej jest nie do zrealizowania.

Drugi sposób polega na wyznaczeniu czasu zdefiniowanego przez okres drgań wzorca wtórnego. Metoda ta jednak jest obciążona wszystkimi błędami odbioru sygnałów czasu i daje duże dokładności odbioru tylko przy

dłuższych okresach porównań. Przy okresach krótszych natomiast, błędy odbioru sygnałów czasu fałszują w znacznym stopniu wyniki porównań. Przy dłuższych okresach porównań otrzymuje się poza tym w wyniku częstotliwość wypadkową generatora za okres pomiaru, która nie obrazuje w dostatecznym stopniu pracy generatora.

Najdokładniejszą metodą porównywania wzorców lokalnych drogą radiokomunikacyjną jest metoda fazowa polegająca na pomiarze przesunięcia fazy między przebiegiem lokalnym i wzorcowym. Przesunięcie to będzie stałe w długim okresie czasu tylko w wypadku idealnej zgodności częstotliwości obu przebiegów. Przy zaistnieniu najmniejszej chociażby różnicy — przesunięcie będzie się zwiększać proporcjonalnie do upływającego czasu, o ile przy jego upływie obie częstotliwości nie ulegają zmianie. Ostateczny wzór pozwalający wyliczyć odstrojenie wzorca lokalnego w stosunku do emisji wzorcowej wygląda następująco:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \varphi}{2\pi t f}, \quad (8)$$

gdzie $\frac{\Delta f}{f}$ oznacza względne odstrojenie wzorca lokalnego,

$\Delta \varphi$ — zaobserwowane przesunięcie fazy w czasie pomiaru,

t — czas pomiaru,

f — częstotliwość, na której odbywa się porównanie.

Wzór ten wyprowadza się rozpatrując porównanie 2 przebiegów sinusoidalnych o zbliżonych częstotliwościach, z których jeden jest przebiegiem wzorcowym, a drugi badanym.

Na płaszczyźnie zmiennej zespolonej przebiegi te będą obrazowane przez dwa wektory mające punkty przyłożenia w początku układu i obracające się ze zbliżoną prędkością kątową dokoła niego. Jeśli założyć, że w momencie t_0 oba wektory pokrywają się, to po upływie czasu t kąty φ_1 i φ_2 , o które obróćą się oba wektory będą wprost proporcjonalne do upływającego czasu i ich prędkości kątowej ω_1 i ω_2 zwanej również pulsacją przebiegu okresowego.

$$\varphi_1 = \omega_1 t \quad \text{ i } \quad \varphi_2 = \omega_2 t$$

Po zamianie pulsacji na częstotliwość według znanego wzoru $\omega = 2\pi f$, otrzymuje się:

$$\varphi_1 = 2\pi f_1 t \quad \text{ i } \quad \varphi_2 = 2\pi f_2 t.$$

Po odjęciu stronami będzie:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi (f_1 - f_2)t.$$

Można zatem z pomierzonej różnicy przesunięć fazy powstałej w czasie

t , wyliczyć różnicę częstotliwości obu przebiegów:

$$f_1 - f_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2\pi t}.$$

Po zamianie różnic na przyrosty i podzieleniu przez f otrzymuje się ostatecznie wzór na odchyłkę względną częstotliwości sprawdzanej od nominalnej.

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \varphi}{2\pi t f}.$$

Wzór ten pozwala wyliczyć z pomiaru chwilową częstotliwość kontrolowanego generatora. Pojęcie częstotliwości chwilowej nie jest w tym wypadku zupełnie ścisłe, gdyż w celu osiągnięcia dostatecznie dużej dokładności porównania, sam pomiar powinien trwać dosyć długo. W praktyce czas ten wynosi nawet kilkanaście minut przy porównaniach o bardzo wysokiej precyzji. Dla celów wyznaczenia krzywej chodu zegara kwarcowego, gdzie chód należy wyznaczyć z dokładnością co najmniej kilkudziesięciu mikrosekund na dobę, pomiar powinien trwać przez okres około pięciu minut. Przedłużanie czasu pomiaru ma sens tylko w wypadku porównywania wysokostabilnych generatorów, które nie posiadają zbyt dużych fluktuacji częstotliwości. Przy porównaniu generatorów o gorszej stabilności, przedłużenie czasu pomiaru prowadzi do wyznaczenia częstotliwości średniej za okres trwania pomiaru.

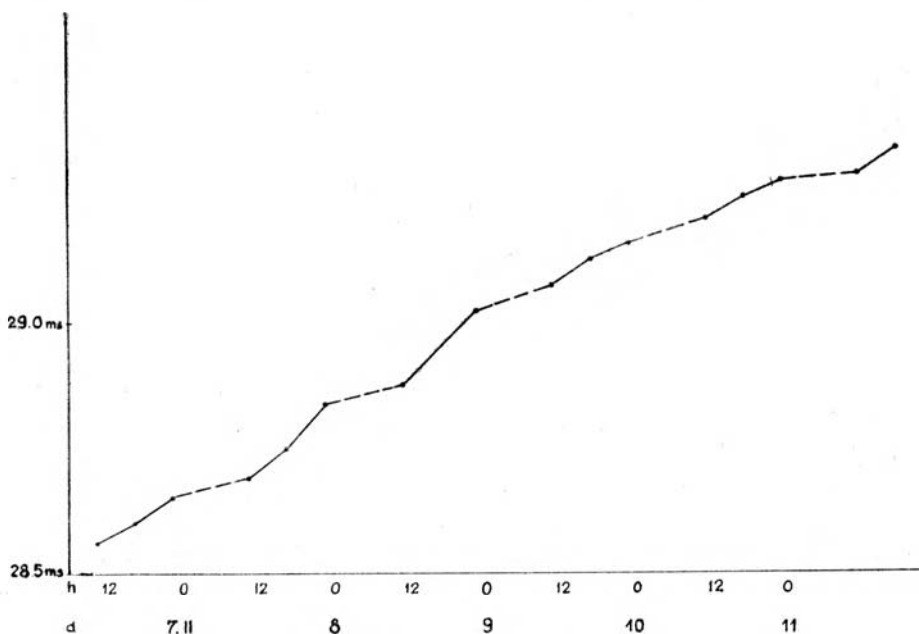
Wysoka dokładność fazowej metody porównań polega przede wszystkim na tym, że jest ona metodą różnicową i wszelkie błędy pomiaru wynikające z przesunięć fazy w torze nadawczo-odbiorczym o wolnozmiennym charakterze są wyeliminowane. Doświadczalnie bowiem stwierdzono, że fluktuacje fazy odbiorników częstotliwości w krótkich okresach są minimalne, jednakże przedłużanie pomiaru może tu powodować błędy.

Jak widać z wzoru dokładność bezwzględnego odstrojenia Δf nie zależy od częstotliwości na której odbywa się porównanie. Pewna zależność tu istnieje, jednakże jest ona pośrednia. Wskaźnik przesunięcia fazy w wypadku stosowania niskich częstotliwości porównań będzie wykazywał wolne zmiany, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia dokładności pomiaru czasu. Natomiast stosowanie zbyt dużych częstotliwości porównań powoduje szybkie reakcje wskaźnika fazy, co z kolei powoduje trudności w zanotowaniu czasu pomiaru.

Ograniczenia dokładności metody fazowej mają swe źródło przede wszystkim w szumach oraz niestabilności fazy urządzeń nadawczych i odbiorczych. Szumy powodują przypadkowe błędy wskaźnika fazy, natomiast niestabilność fazowa toru radiokomunikacyjnego powoduje, że przesunięcie fazy nie narasta liniowo, lecz w sposób nieregularny.

Błędy pomiaru wynikające z szumów należy zaliczyć do przypadkowych, natomiast błędy spowodowane niestabilnością fazy mogą mieć charakter zarówno przypadkowych, jak systematycznych i grubych. Jak wspomniano poprzednio, systematyczne oraz przypadkowe przesunięcia fazy mogą powstać również między nadajnikiem i odbiornikiem.

Błędy wynikające ze zmian przesunięć fazy zachodzących w ośrodku propagacyjnym mają charakter zmian dobowych, jednakże w Borowej Górze oraz innych ośrodkach [4] stwierdzone zostało, że zmiany dobowe ulegają sezonowym powiększeniom i zmniejszeniom. Zjawisko to można wytłumaczyć tym, że w nocy w okresie letnim szczególnie przy końcu czerwca nie zapadają w naszych szerokościach całkowite ciemności i zmiany gęstości jonizacji w warstwach jonosferycznych są mniejsze niż w okresie zimowym. W okresie tym zmiany z tytułu efektu Doppler'a w Borowej



Rys. 9. Zmiany dobowe przy odbiorach częstotliwości wzorcowej

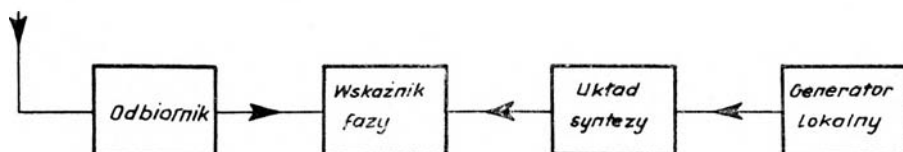
Górze osiągają 20 mikrosekund. Mimo, że wielkość ta leży poniżej dokładności odbioru można stwierdzić szczególnie w okresach zimowych, że zmiany dobowe mają charakter systematyczny (rys. 9).

Do porównań generatorów metodą fazową skonstruowano cały szereg przyrządów, które można podzielić na kilka grup. Pod względem wykorzystania wyników — na przyrządy porównawcze i przyrządy synchronizujące generator z odbieraną emisją. Ze względu na wskaźnik przesunięcia

fazy — na przyrządy oscylograficzne, przyrządy z miernikami wychyłowymi oraz układy z serwomechanizmami. Poza tym spotyka się układy z przemianą częstotliwości i wzmocnieniem bezpośrednim. Ponadto należy nadmienić, że do ciągłych bardzo precyzyjnych porównań korzysta się z układów zaopatrzonych w człony automatycznie eliminujące zmiany okresowe, np. dobowe.

Jeżeli przy kontrolowaniu wzorców odstrojonych od częstotliwości znamionowej o wielkość rzędu 0,001 Hz znajduje zastosowanie niska częstotliwość, to wskaźnik wykonuje tak wolne zmiany, że pomiar czasu jest utrudniony. Korzystnie jest więc stosować częstotliwości porównania wyższe np. 75, 80 lub 100 kHz, gdyż zmiany wykazane przez wskaźnik są szybsze i łatwiej można przesunięcia ocenić, a szczególnie korzystnie jest dokonywać pomiarów przesunięć wynoszących 360° i wielokrotnie większych, gdyż można tu osiągnąć najwyższe dokładności. Wyznaczenie przesunięcia będącego ułamkiem 360° może być obciążone błędem wynikającym z nieliniowości wskaźnika.

Najogólniejszy schemat blokowy przyrządu do porównań metodą pomiaru przesunięcia fazy [4], [7], [28], [29], przedstawia rysunek 10.



Rys. 10. Ogólny schemat blokowy komparatora częstotliwości

Jako wskaźnika fazy używa się najczęściej oscylografu. Układ blokowy jest wtedy taki sam lub nieco zmodyfikowany, gdyż czasem podstawę kołową na ekranie wytwarza się nie z samej fali nośnej, lecz z przebiegu powstałego przez zmieszanie częstotliwości nośnej oraz przebiegu z generatora lokalnego. Następnie do cylindra Wehnelt'a przykładają się napięcia impulsowe, które wygasza w odpowiedni sposób figurę powstałą na ekranie. Napięcie gaszące powinno mieć częstotliwość podstawy kołowej lub wielokrotnie większą. Impuls gaszący powinien mieć ostre zbocze, by uzyskać wyraźny kontur figury na ekranie. W wypadku niewielkiego odstrojenia generatora od kontrolnej fali nośnej, figura utworzona na ekranie obraca się. Pomiar polega na zaobserwowaniu czasu jednego względnie większej ilości obrotów figury. Stosowanie modulacji jasności figury jest na ogół korzystniejsze niż obserwowanie figur Lissajous, gdyż przy stałym połączeniu układu, kierunek obrotu figury świadczy o odstrojeniu poniżej, względnie powyżej częstotliwości nominalnej. Zdarzają się jednak wy-

padki poważnych zakłóceń emisji radiowej, przy których lepsze rezultaty daje obserwacja figur Lissajous.

Ogólnie spotykane rozwiązania układów do porównań lokalnych przebiegów z emisjami wzorcowymi są podobne do siebie, różnice pomiędzy poszczególnymi rozwiązaniami polegają głównie na podejściu do zagadnień syntezy częstotliwości. Należy jeszcze wspomnieć o układach przystosowanych do ciągłej rejestracji przesunięcia fazy na przesuwnej taśmie papierowej bądź fotograficznej. Wskaźnikiem fazy jest wówczas rysik lub lustro odchylające promień świetlny. Są one sterowane poprzez sygnał pochodzący z dyskryminatora fazy, w którym dokonuje się porównanie fazy obu przebiegów.

Obecnie w różnych ośrodkach trwają intensywne prace nad skonstruowaniem nowszych przyrządów pozwalających na uzyskiwanie wyższych dokładności porównań przy znacznie skróconym czasie pomiaru. Prace te idą w kierunku podniesienia dokładności wyznaczenia czasu poprzez zastosowanie elektronowych metod pomiaru oraz zwiększenie ilości obserwowanych zdudnień i zwiększenie dokładności odczytu przesunięcia fazy.

R o z d z i a ł I I I

3. Powiązanie wzorca lokalnego z atomowym drogą radiokomunikacyjną

Dotychczasowe metody powiązań drogą radiokomunikacyjną wzorców używanych w astronomii, były oparte w głównej mierze na porównaniach w dziedzinie czasu. Porównania te oparte na wykorzystaniu fal ultradźwiękowych nie dają już w chwili obecnej wystarczająco dokładnych wyników w związku z podwyższeniem jakości używanych lokalnych wzorców oraz w związku z wprowadzeniem ostatnio nowych metod porównań, jak użytkowanie przenośnych zegarów cezowych, czy też wykorzystywanie fal ultrakrótkich retransmitowanych przez sztuczne satelity Ziemi.

W praktyce w dziedzinie czasu ze względów propagacyjnych oraz z powodu błędów aparatury nadawczej i odbiorczej nie daje się przeprowadzać porównań z większą dokładnością niż 1 msek. Zastosowanie fal ultrakrótkich prawdopodobnie zwiększy dokładność w związku z lepszą ich propagacją, brak jest jednak na razie dokładnych danych co do wyników porównań. Poza tym z porównań takich ze zrozumiałych względów będą mogły korzystać nieliczne placówki. Użytkowanie przenośnych zegarów atomowych podnosi dokładność porównania do rzędu kilkudziesięciu nanosekund.

Obie te metody na razie nie znajdują zastosowania w mniejszych pla-

cówkach astrometrycznych. Wydaje się więc, że dla nich najlepszą drogą podniesienia dokładności konserwacji czasu jest wykorzystywanie porównań w dziedzinie częstotliwości. Nie dają one jednakże bezpośrednio poprawki wskazania wzorca, lecz tylko chwilową wartość jego częstotliwości. Dokładności uzyskiwane tutaj są o dwa rzędy wyższe niż dokładność wyznaczeń z odbiorów sygnałów czasu na falach ultradługich czy też krótkich.

Należy więc przypuszczać, że metoda ta może znaleźć zastosowanie przy określaniu krzywej chodu zegara. Podstawowymi jej zaletami jest wyższa dokładność niż przy odbiorach sygnałów czasu oraz prostota i niski koszt urządzeń używanych do pomiaru.

Zachowanie się zegara w czasie obrazuje przebieg jego poprawki będącej funkcją czasu $U = f(t)$. Znacznie bardziej praktyczne jest jednak korzystanie z wykresu chodów, który jest pochodną poprzedniej funkcji:

$$\omega = \frac{df(t)}{dt}. \quad (9)$$

Chód zegara najogólniej można określić jako przyrost jego poprawki w danym okresie czasu. Okresem tym jest przeważnie doba i w dalszym ciągu przez chód zegara w pracy niniejszej należy rozumieć zmianę jego poprawki w ciągu jednej doby średniego czasu słonecznego, gdyż w takim czasie rozpatrywany zegar idzie, a więc:

$$\omega_{\text{zeg}, 1d} = \frac{u_{\text{zeg}}^{(i+1)d} - u_{\text{zeg}}^{id}}{1d}. \quad (10)$$

Czyli chód równa się różnicy poprawek zegara w tych samych momentach następujących po sobie dób. Z drugiej strony chód dobowy można wyznaczyć obserwując chwilową częstotliwość generatora kwarcowego.

Należy jednak jeszcze omówić zależność chodu zegara od przyjętej skali czasu. I tak, gdy trzeba wyznaczyć chód zegara względem czasu uniwersalnego skoordynowanego TUC, należy dokonać odpowiedniego skorygowania wyników obserwacji, gdyż porównania przeprowadza się w stosunku do czasu skoordynowanego TUC związanego z czasem atomowym TA. Chód dobowy zegara liczony w czasie TUC będzie oznaczony $\omega_{\text{zeg}}^{\text{TUC}}$. Natomiast wzór pozwalający wyliczyć chód z danych zaobserwowanych wygląda następująco:

$$\omega_{\text{zeg}}^{\text{TUC}} = \omega_{\text{zeg}}^{\text{HBG}} + \omega_{\text{HBG}}^{\text{TA}} + \omega_{\text{TA}}^{\text{TUC}}. \quad (11)$$

Wielkość $\omega_{\text{zeg}}^{\text{HBG}}$ zostaje wyliczona z danych obserwowanych, wyraz $\omega_{\text{TA}}^{\text{TUC}}$ jest okresowo ustalany przez BIH i uwzględnia się go przy obli-

czeniu, natomiast wielkość $\omega_{\text{HBG}}^{\text{TA}}$ jest brana ze sprawozdań miesięcznych Obserwatorium Neuchatel. Wyżej wymienione trzy człony sumuje się przed zamianą na chód i obliczenie prowadzi się według następującego wzoru

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{zeg}}^{\text{TUC}} = \left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{zeg}}^{\text{HBG}} + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{HBG}}^{\text{TA}} + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{TA}}^{\text{TUC}}, \quad (12)$$

gdzie wielkość $\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_{\text{TA}}^{\text{TUC}}$ dla obecnego okresu wynosi $3 \cdot 10^{-8}$.

Przy korzystaniu z sygnału GBR wzór wygląda następująco:

$$\omega_{\text{zeg}}^{\text{TUC}} = \omega_{\text{zeg}}^{\text{GBR}} + \omega_{\text{GBR}}^{\text{TUC}} \quad (13)$$

przy czym pierwszy wyraz wylicza się z danych pomiarowych, natomiast wyraz drugi publikowany jest przez Royal Greenwich Observatory w miesięczniku *Electronic Engineering*.

Ostatecznie z obserwacji otrzymuje się chwilową wartość chodu dobowego $\omega_{\text{zeg}}^{\text{TUC}}$. Aby otrzymać poprawkę zegara wykorzystując wyznaczony chód, należy dokonać całkowania według wzoru

$$U_{z_k}^{\text{TUC}} = U_{z_0}^{\text{TUC}} + \int_0^k \omega_{i,z,1d\odot}^{\text{TUC}} \cdot dt \quad (14)$$

W praktyce dokonuje się tego drogą sumowania według wzoru

$$U_{z_i}^{\text{TUC}} = U_{z_0}^{\text{TUC}} + \sum_0^i \omega_{z,1d\odot}^{\text{TUC}} \quad (15)$$

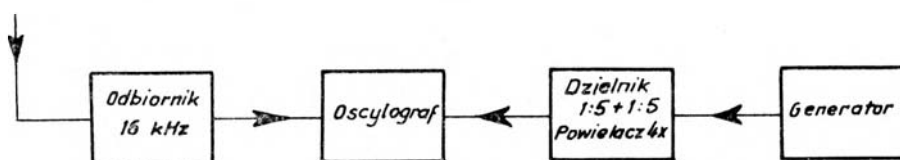
Widać więc z powyższych rozważań, że poprawka zegara może być otrzymana dwiema niezależnymi drogami. Dokładność otrzymywana przy korzystaniu z odbiorów częstotliwości wzorcowej stabilizowanej wzorcami atomowymi jest tak wysoka, że w praktyce jest równa dokładności osiągniętej przy stacyjnych porównaniach z maserami amoniakalnymi, co jest jeszcze szeroko praktykowane w niektórych obserwatoriach [32], [33].

W dalszej części pracy zostanie podany całokształt rozważań na temat praktycznego określenia dokładności obu metod w Obserwatorium w Borowej Górze, opisy układów pomiarowych oraz wyniki dokonywanych krótkookresowych i długookresowych porównań.

R o z d z i a ł I V

**4. Porównanie zegara kwarcowego w Borowej Górze
z wzorcem atomowym****4.1. Schematy blokowe układów służących do porównań**

Poniżej zostaną przedstawione układy opracowane i wykonane w IGiK dla przeprowadzania systematycznych kontroli generatorów zegarów kwarcowych [30].

4.1.1. Komparator dla porównań z emisją GBR

Rys. 11. Komparator stosowany w IGiK do porównań z emisją GBR

Cały układ jest stranzystorowany i jedynie jako wskaźnik fazy używany był oscylograf laboratoryjny. Porównanie odbywa się na częstotliwości 16 kHz, z tą samą częstotliwością odbywa się wygaszanie i w związku z tym na ekranie otrzymuje się koło z zaznaczoną przerwą. Błąd wyznaczenia chwilowego chodu dobowego (wyliczony z wzoru różniczkowego) za pomocą tego przyrządu z pomiaru trwającego około 6 minut wynosił 70 mikrosekund. Układ ten był eksploatowany przez cały 1965 rok do czasu przebudowy nadajnika GBR.

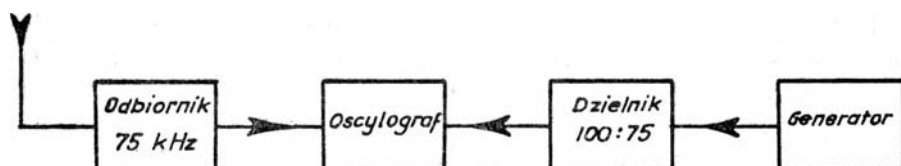
4.1.2. Komparator dla porównań z emisją ROR

Rys. 12. Komparator stosowany w IGiK do porównań z emisją ROR

Układ jest całkowicie stranzystorowany przy czym bezpośrednio wzmocniona częstotliwość nośna jest czterokrotnie powielona w związku z czym częstotliwość porównania wynosi 100 kHz. Do wygaszania używa-

no bezpośrednio napięcie z generatora. W związku z małą dokładnością częstotliwości nośnej ROR, układ był używany w wypadku awarii oraz przerw w emisji GBR. Należało poza tym uwzględnić przesunięcie częstotliwości $5 \cdot 10^{-8}$ w stosunku do GBR.

4.1.3. Komparator dla porównań z emisją HBG



Rys. 13. Komparator stosowany w IGiK do porównań z emisją HBG

Układ został wykonany w technice lampowej ze względu na większą łatwość zasilania związaną z istnieniem stałego napięcia 220 V z baterii akumulatorów. Porównanie odbywa się na częstotliwości 75 kHz i w związku z tym błąd wyznaczenia chodu dobowego (z wzoru różniczkowego) z pomiaru sześciominutowego powinien wynieść 14 mikrosekund.

4.2. Układy odbiorników oraz wybrane emisje

Wyznaczenie częstotliwości generatora lokalnego w stosunku do wzorców atomowych, było dokonywane poprzez kontrolę względem szwajcarskiej stacji HBG — 75 kHz oraz angielskiej GBR 16 kHz. Częstotliwości nośne tych stacji są sterowane wzorcami: rubidowym Observatoire Neuchatel i cezowym — National Physical Laboratory Teddington. Dokładności emitowanych częstotliwości wynoszą według danych wyżej wymienionych placówek $2 \cdot 10^{-11}$ dla HBG i $1 \cdot 10^{-10}$ dla GBR. Według ostatnich danych BIH [14] wzorzec NPL wykazuje nieco mniejsze wahania niż wzorzec Observatoire Neuchatel, jednakże podawana dokładność emitowanej częstotliwości wzorcowej jest większa dla stacji HBG [13].

W lokalnych warunkach Borowej Góry stacje te są najwygodniejsze do odbierania ze względu na niezakłócony odbiór w ciągu całej doby. Kształty sygnału obu stacji szczególnie dobrze nadają się do porównań metodą oscylograficzną, która jest stosowana w Borowej Górze.

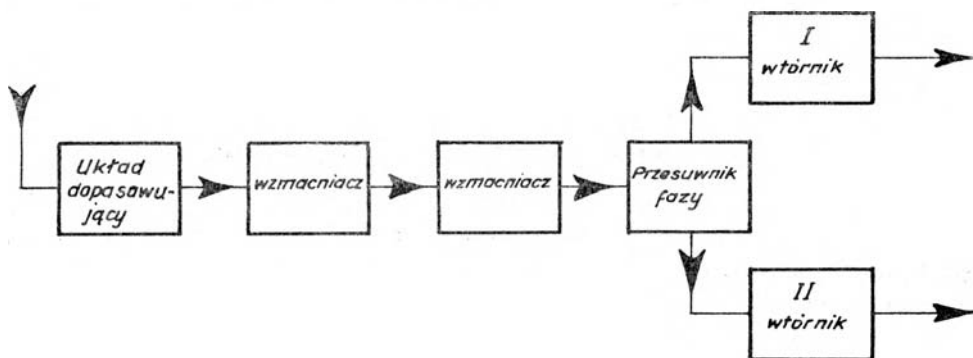
Aparatura służąca do porównań składa się z następujących części

1) Dwustopniowy odbiornik selektywny 75 kHz z układem wyjściowym dającym kołową podstawę czasu (rys. 14).

2) Jednostopniowy dzielnik w układzie regeneratywnym dającym na wyjściu częstotliwość 75 kHz sterowany częstotliwością 100 kHz z generatora zegara.

3. Oscyloskop porównawczy z układem kształtującym impulsy wygaszające.

Przy odbiorze emisji GBR korzystano z urządzeń analogicznych jak w punktach 1 i 2 tylko pracujących z częstotliwością 16 kHz.



Rys. 14. Odbiornik częstotliwości 75 kHz stosowany w IGiK

4.3. Wybór metody porównania

Przyjęto fazową metodę porównania biorąc pod uwagę, że jest ona znacznie dokładniejsza od innych metod oraz najbardziej praktyczna. Zakładając, że w wyniku porównania otrzymuje się wartość chwilową chodu dobowego, należałoby prowadzić odbiór ciągły na urządzeniu samorejestrującym. Układy te są jednak dosyć skomplikowane i w warunkach Borowej Góry eksploatacja ich byłaby utrudniona. Poza tym układ taki, aby można dokładnie ocenić okres czasu pomiędzy poszczególnymi dudnieniami, musiałby mieć dużą prędkość przesuwu papieru, co z kolei prowadzi do trudności w ocenie minimów i maksimów zdudnień. Przy ciągłej rejestracji występują też trudności przy eliminacji szumów i zakłóceń. Urządzenia samorejestrujące dają większe dokładności porównań przy bardzo małych odstrojeniach od częstotliwości znamionowej, ponieważ czas pomiaru jest wtedy długi i dokładność jego określenia gra mniejszą rolę. Utrzymywanie przez dłuższy okres czasu małego odstrojenia wymaga jednak dobrego zegara o małym współczynniku starzenia lub też częstego przestrajania, co nie jest dla służby czasu korzystne ze względu na nieciągłości krzywej chodu zegara.

Dokonywano też prób wykorzystania wskazań miernika wychyłowego do porównań częstotliwościowych. Korzystano mianowicie z kanału odbiornika długofalowego przystosowanego do odbiorów sygnałów stacji RES, która w ciągu 55 minut każdej godziny nadaje sygnał ciągły o częstotliwości 100 kHz. Po doprowadzeniu do anteny przez niewielkie sprzężenie napięcia 100 kHz z zegara, na wychyłowym mierniku napięcia wyjściowego można

zaobserwować dudnienia. Pomiar okresów tych dudnień nie nastęrcza trudności, jednakże rezultaty wykazują, że odbiory nie są tak dokładne jak przy metodzie oscylograficznej. Prawdopodobnie decydującą rolę gra tu większa bezwładność miernika w stosunku do oscylografu. Dokładniejsze omówienie tych pomiarów będzie podane w dalszej części.

4.3.1. Wzory obliczeniowe oraz analiza wpływu wielkości odstroięcia generatora na wyniki porównań

Podstawiając do wzoru (8) wielkość 75 kHz otrzymuje się wzór na odchyłkę częstotliwości dla 10 obrotów plamki świetlnej przy porównaniu ze stacją HBG:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{10}{75t^s \cdot 10^3} = \frac{0,133333333}{t^s} \cdot 10^{-3}. \quad (16)$$

Ze względu na korzystanie ze stopera minutowego należy współczynnik w powyższym wzorze pomnożyć przez 1 : 60 w wyniku czego otrzymuje się:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{0,22222222}{t^m} \cdot 10^{-5}. \quad (17)$$

Uwzględniając chód stopera wynoszący $\omega_{\text{stop}}^{\text{TU}} = + 0^m,000445/1^m$ ostateczny wzór obliczeniowy wygląda następująco:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{0,2221233}{t^m} \cdot 10^{-5}. \quad (18)$$

Analogicznie przyjmując do wzoru (8) częstotliwość 16 kHz, taką samą drogą otrzymuje się ostateczny wzór obliczeniowy dla odchyłki względnej częstotliwości generatora przy porównaniach ze stacją GBR:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{1,0412029}{t^m} \cdot 10^{-5}. \quad (19)$$

Przy korzystaniu z sygnału stacji HBG należy uwzględnić, że emituje ona częstotliwość atomową i wprowadzi, poprawkę wg wzoru

$$\frac{\Delta f}{f_{\text{TU}}} = \frac{\Delta f}{f_{\text{TA}}} \cdot (1 + 3 \cdot 10^{-8}). \quad (20)$$

Dla obliczenia chodu dobowego zegara kwarcowego korzysta się ze zna-

nej zależności [4]

$$\frac{\Delta f}{f} = - \frac{\omega}{86400} \quad (21)$$

Dla roboczych obliczeń zakłada się, że częstotliwość lokalna jest równa 100 kHz i w związku z tym wzór ten przybiera postać

$$\omega^s = -0,864^s \Delta f. \quad (22)$$

Z wzoru powyższego oblicza się ostateczne wartości chodu brane do dalszych obliczeń.

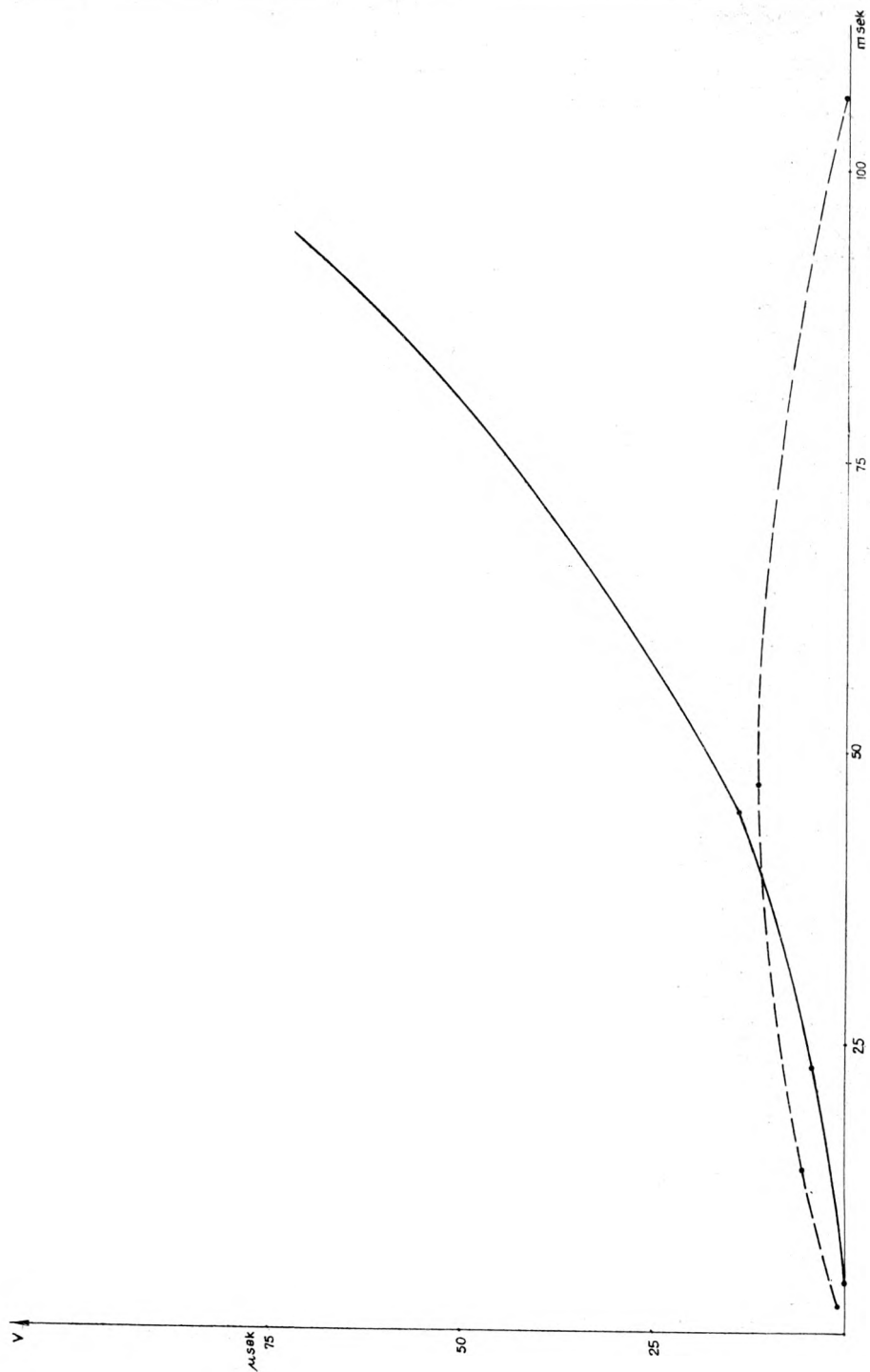
Jak wiadomo, przy pomiarze należy zanotować okres czasu w jakim nastąpiło zaobserwowane przesunięcie fazy między dwoma przebiegami. Pomiar czasu jest więc jednym z głównych źródeł błędów porównania. Błąd pomiaru czasu można podzielić na dwie części.

Pierwsza część błędu ma swe źródło przede wszystkim w odczycie czasu na stoperze oraz w tzw. błędzie osobowym wyrażającym się w opóźnieniu bądź przyspieszeniu momentów uruchomienia lub zatrzymania stopera przez danego obserwatora. Można stwierdzić, że błąd ten dla użytkownego stopera nie przekracza $0,002^m$.

Druga część błędu pochodzi od możliwości prawidłowej rejestracji położenia plamki w zależności od szybkości jej ruchu. Jeśli plamka porusza się bardzo wolno to błędy pomiaru przesunięcia fazy są duże i rozbieżności pomiędzy poszczególnymi odczytami osiągają wielkości $0,1^m$ czyli 6^s . Widać więc od razu, że wyżej wymienione błędy będą miały całkowicie różny wpływ przy dużych względnie małych odstrojeniach. I tak przy wzrastających odstrojeniach, a więc krótszych czasach pomiaru, błąd $0,002^m$ będzie dawał rosnące rozbieżności wyników. Natomiast szybkość obrotu plamki w tym wypadku będzie rosła i błąd oceny jej położenia maleje.

Zależności te zostały prześledzone w następujący sposób. Dla różnych odstrojeń obliczono wartości chodu przyjmując czas pomiaru oraz czas różniący się o $0,002^m$. Różnice obu chodów dla różnych odstrojeń otrzymane w ten sposób naniesiono na wykres i uzyskano krzywą zbliżoną do wykładniczej przechodzącą przez początek układu. Następnie pomierzono kilkakrotnie dla różnych odstrojeń, okresy odpowiadające przesunięciu fazy dla danego odstrojenia, ustalono ich rozbieżności i obliczono chody dla wartości średniej i najbardziej odbiegającej. Różnice naniesiono na ten sam wykres (rys. 15). Otrzymano krzywą z maksimum około 50 msek i pokrywającą się z poprzednią w zakresie $0 \div 35$ msek.

W wyniku tego należałoby sądzić, że powinno się unikać większych odstrojeń jak 35 msek, jednakże w praktyce w Borowej Górze przestrajają się zegar raz na rok co prowadzi do odstrojeń rzędu 55 msek. Poza tym widać, że przy wzroście szybkości plamki dokładność względna pomiaru czasu rośnie, co jest zgodne z przewidywaniami.



Rys. 15. Wykres zależności błędów porównania od odstrojenia generatora

4.3.2. Analiza dokładności porównań

Biorąc pod uwagę wzór (8) widać, że przy porównaniu mierzy się dwie wielkości t i $\Delta\varphi$. Po zróżniczkowaniu wzoru (8) względem tych dwu wielkości otrzymuje się

$$d\left(\frac{\Delta f}{f}\right) = \frac{1}{2\pi t f} d(\Delta\varphi) - \frac{\Delta\varphi}{2\pi t^2 f} dt. \quad (23)$$

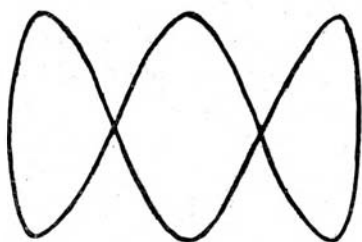
W celu uzyskania bliższej oceny dokładności wynikających z powyższego wzoru należałoby pokrótce omówić sprawę jakości odbioru częstotliwości w Borowej Górze. Zdarzają się okresy, gdy lokalne zakłócenia są bardzo małe i wtedy można prowadzić odbiory za pomocą wygaszania plamki na ekranie oscylografu. Otrzymuje się wtedy bardzo ostry brzeg konturu figury. Przyjmując promień koła na ekranie równy 30 mm można założyć, że przy obserwacji przesunięcia plamki nie popełnia się większego błędu niż 0,5 mm, czyli wielkość $d(\Delta\varphi)$ wynosi około 1/60.

Inaczej nieco przedstawia się sytuacja w wypadku istnienia zakłóceń. Przeważnie niecelowe jest wtedy prowadzenie obserwacji metodą wygaszania podstawy kołowej, lecz korzystniej jest obserwować figury Lissajous. Do jednej pary płytek oscylografu przykładą się sygnał radiowy, a do drugiej napięcie z zegara przy czym powinno mieć ono częstotliwość kilkakrotnie niższą, a nie wyższą. Warunek ten jest konieczny, gdyż w przeciwnym wypadku figura jest mało czytelna wskutek modulacji sygnału. W Borowej Górze można do tego celu wykorzystywać napięcia z dzielników o częstotliwościach 75, 25 i 5 kHz. Doświadczalnie stwierdzono, że najkorzystniej jest stosować napięcie 25 kHz. Przy porównaniu bowiem sygnału z napięciem o tej samej częstotliwości za punkt odniesienia można przyjąć jedynie moment przechodzenia elipsy w prostą. Jednakże ze względu na stałe pole zakłócające dające w momencie zaniku sygnału dosyć dużą (ca 30%) składową stałą, obraz w chwili przechodzenia elipsy w prostą jest niezbyt czytelny. Znacznie czytelniejszy obraz otrzymuje się korzystając z napięcia 25 kHz. Na ekranie ukazuje się figura kształtu pokazanego na rysunku 16.

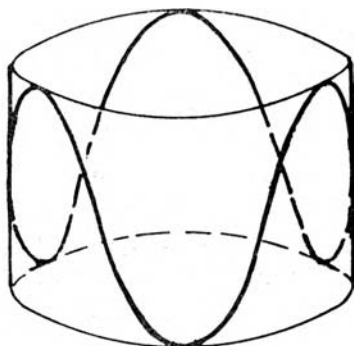
W przestrzennym rzucie ukośnym figurę tę można sobie wyobrazić jak to jest widoczne na rysunku 17.

Przy pozornym obrocie tejże figury można zaobserwować pokrywanie się wierzchołków. Są one dosyć ostro zarysowane mimo zakłóceń i szumów oraz mają ostre spadki z obu stron. Obserwując pokrywanie się ze sobą kolejnych wierzchołków można stwierdzić, że nie popełnia się większego błędu niż 0,3 mm w ocenie ich koincydencji. Przyjmując rozmiar figury około 30 mm otrzymuje się również wartość 1/60 dla wielkości $d(\Delta\varphi)$. Mając na uwadze prędkość zmian położenia figury oraz nachylenie zboczy wierzchoł-

ków, korzystniej byłoby doprowadzić napięcie 5 kHz, jednakże figura staje się mniej czytelna i istnieje możliwość popełnienia grubego błędu. Wydaje się, że optymalna figura powinna mieć pięć wierzchołków, jednakże brak jest napięcia 15 kHz. Błąd pomiaru czasu jak uprzednio zaznaczono nie przekracza $0,002^m$.



Rys. 16. Szkic figury Lissajous przy stosunku częstotliwości 1 : 3



Rys. 17. Rzut ukośny walca z naniesioną figurą Lissajous

Postępując w ten sposób można wyliczyć teoretyczne wielkości błędu wyznaczenia względnej odchyłki częstotliwości, a co za tym idzie — chodu dobowego. Czas pomiaru wynosi przeważnie około 6 minut i powiększenie go nie wiele daje, gdyż błąd składa się z dwu członów i przedłużenie czasu pomiaru wydatnie zmniejsza tylko jedną część błędu. Po obliczeniu otrzymuje się:

$$m = \pm 12 \text{ } \mu\text{sek} \quad \text{dla HBG,}$$

$$m = \pm 60 \text{ } \mu\text{sek} \quad \text{dla GBR.}$$

W celu określenia rzeczywistej dokładności porównania generatora z emisją wzorcową, przeprowadzono następujące badanie aparatury. W ciągu 24 godzin wykonano co 60 minut normalne porównania. Pomiarów wykonano w całodobowym okresie by ustalić ewentualny wpływ efektu Dopplera. W wyniku badań wpływu w/w efektu nie stwierdzono, prawdopodobnie ze względu na niewielką odległość stacji nadawczej HBG, niską częstotliwość oraz niezbyt ostro zarysowaną w m-cu lipcu granicę światłocienia.

Ze względu na brak wpływów systematycznych, wszystkie odchylenia pomiarów potraktowano jako błędy przypadkowe i poprawki poszczególnych obserwacji obliczono graficznie w stosunku do chodu zegara wyznaczonego z okresu kilkudniowego, który wskutek starzenia się rezonatora zmienia się tak regularnie, że w okresie krótszym można zmianę przyjąć

jako prostoliniową. Z wyznaczonych w powyższy sposób poprawek obliczony został średni błąd jednego porównania wynoszący 50 mikrosekund (rys. 18).

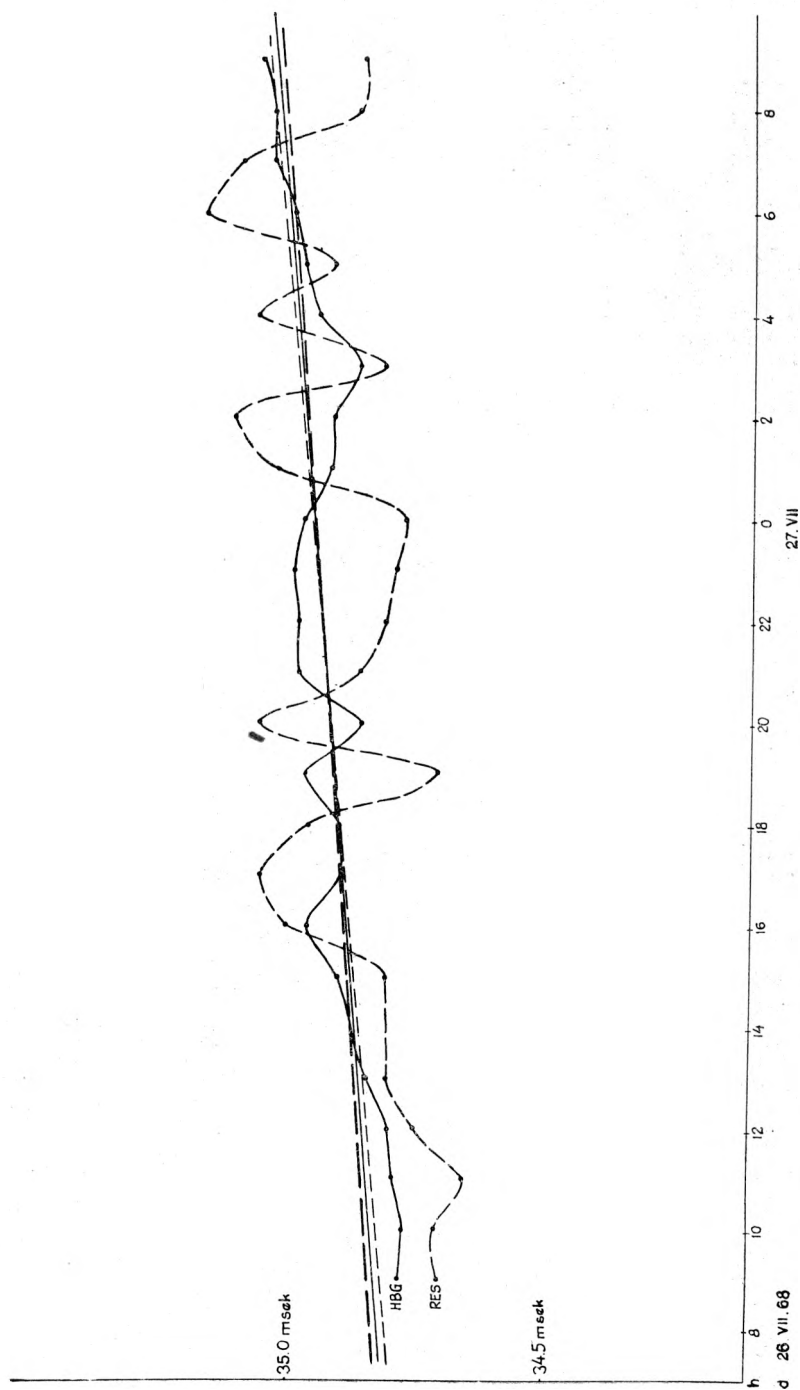
Wyliczenie poprawek w powyższy sposób nie jest zupełnie ścisłe, jednakże przyjęcie chodu z błędem 0,1 msek w dniach końcowych okresu kilkudniowego, powoduje w konsekwencji zmianę wielkości obliczonego błędu średniego o około 10%. Należy więc uznać, że metoda wyżej zastosowana jest dostatecznie dokładna.

W okresie zimowym 1967/68 wykonano analogiczny pomiar w okresie całodobowym. Wpływ efektu Doppler'a jest tu znacznie wyraźniejszy, jednakże trudno jest określić jego rząd w związku z błędami obserwacji, które są nieco większe ze względu na występujące wtedy lokalne zakłócenia. Orientacyjny wpływ efektu Doppler'a wynosi według tych pomiarów około 20 mikrosekund. Błąd średni pojedynczego wyznaczenia obliczony według wyżej wymienionych zasad wynosi 86 mikrosekund. Błąd jest więc większy o około 60% od błędu wyznaczonego w poprzednim wyznaczeniu. Biorąc pod uwagę poziom zakłóceń, wynik jest zgodny z przewidywaniami (rys. 19).

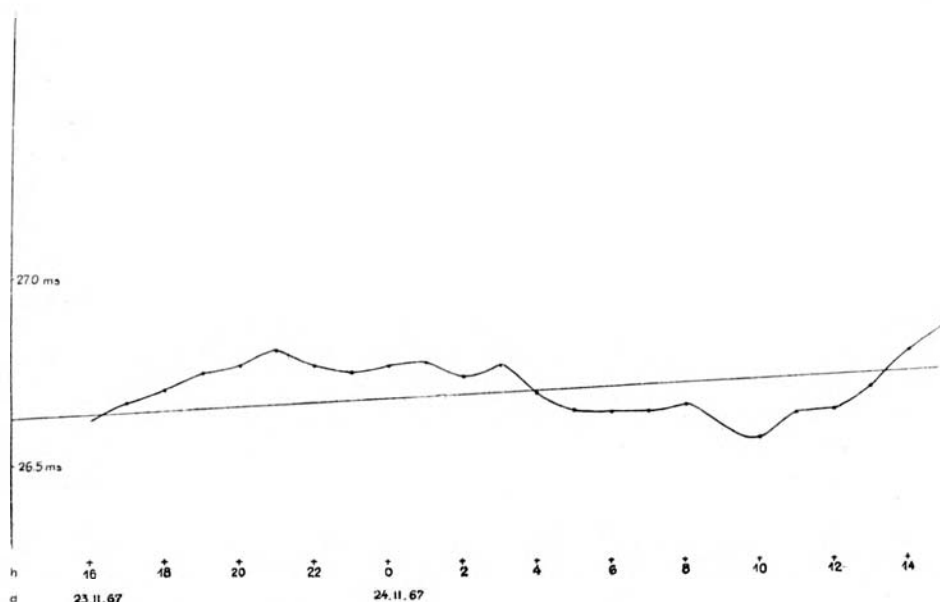
Odstrojenie od częstotliwości znamionowej w obu wypadkach mieściło się w granicach poprzednio określonych i wynosiło dla letnich pomiarów — 34 msek, a dla zimowych — 26 msek. Pomiary zimowe są dosyć trudne do zinterpretowania ze względu na niezbyt prawidłowy chód zegara w tym okresie. Mianowicie wskutek uszkodzenia baterii akumulatorów chód generatora nie był zupełnie płynny, lecz charakteryzował się niewielkim fałowaniem co utrudniało ustalenie prostej odniesienia dla obliczenia poprawek. Ten sam czynnik zaważył również na określeniu wpływu efektu Doppler'a.

Dla określenia dokładności wyznaczenia częstotliwości ze wskazań miernika wychyłowego, wykonano łącznie z letnim porównaniem ze stacją HBG — całodobowe porównanie z radziecką stacją RES. Błąd średni obliczony wyżej wymienionym sposobem wypadł dużo większy i wyniósł 0,139 msek (rys. 18).

Biorąc pod uwagę kształt wykresu i jego różnice w stosunku do wykresu z odbiorów stacji HBG należy stwierdzić, że odchylenia te są spowodowane błędami pomiaru rozumianymi w najszerszym zakresie tj. błędami toru odbiorczego, ośrodka propagacji, odczytu wskaźnika fazy i czasu oraz błędami osobowymi. Ponieważ jednak zasadnicza różnica między wyznaczeniami ze stacji RES i HBG polegała jedynie na korzystaniu z innego wskaźnika fazy, można przyjąć, że wyznaczone błędy obrazują porównanie dokładności obu wskaźników. Jak wynika z danych WNIIFTRI, w omawianym okresie wahania wzorca radzieckiego sterującego stację RES wy-



Rys. 18. Wykres całodobowego porównania z emisjami HBG i RES dla okresu letniego



Rys. 19. Wykres całodobowego porównania z emisją HBG dla okresu zimowego

nosiły $0,7 \cdot 10^{-10}$ na dobę, czyli 6 mikrosekund, a więc znacznie poniżej dokładności porównań dokonywanych w Borowej Górze.

Niestety nie udało się przeprowadzić praktycznego badania dokładności wyznaczeń z emisji GBR. Mianowicie w ciągu całego roku 1965 prowadzono normalne porównania zegara z tą emisją, które były wykorzystywane w służbie czasu. Jednakże przez cały rok 1966 i połowę 1967 trwała przerwa w nadawaniu [31] sygnału GBR. Obecnie po przebudowie stacja Rugby nadaje sygnały innym systemem i na posiadanym odbiorniku można przeprowadzać porównania tylko w ciągu bardzo niewielkich części doby. W obecnej chwili nie ma więc możliwości przeprowadzenia wyznaczeń analogicznych do poprzednich serii. Biorąc jednakże pod uwagę około pięciokrotnie wolniejszy ruch wskaźnika, można ocenić wpływ tego czynnika na pomiary posługując się poprzednimi rozważaniami na temat szybkości ruchu wskaźnika.

4.4. Porównanie zegara kwarcowego w Borowej Górze z zegarem atomowym w dziedzinie czasu

W omawianym okresie użytkowano dość różnorodny sprzęt w związku z czym badania należy podzielić na szereg grup.

Użytkowane były następujące instrumenty:

1) Długofalowy pięciokanałowy odbiornik dla kanałów ROR, GBR, DCF i FTA.

2) Odbiornik częstotliwości wzorcowej 75 kHz wykorzystywany do odbioru sygnałów czasu.

3) Krótkofalowe odbiorniki Elektromekano i R 250 M.

4) Chronoskop błyskowy współpracujący z odbiornikiem długofalowym.

5) Oscylograf BN 7812 firmy Rohde-Schwarz.

Ze względu na to, że nie wszystkie przyrządy mogą ze sobą współpracować, pomiary można podzielić na cztery zasadnicze grupy:

1) Odbiornik długofalowy + chronoskop.

2) Odbiornik długofalowy + oscylograf.

3) Odbiornik częstotliwości + oscylograf.

4) Odbiorniki krótkofalowe + oscylograf.

Grupa 1

Odbierano sygnały ze wszystkich pięciu kanałów. Mimo możliwości odbioru sygnału HBG, nie rejestrowano go, gdyż chronoskop nie jest przystosowany do odbioru sygnałów o odwrotnej polaryzacji. Ponieważ chronoskop należy do przyrządów reagujących na odpowiedni poziom sygnału, spotykamy się tu ze zjawiskiem opóźnienia rejestracji sygnału przy jego zmiennej amplitudzie. W związku z niestabilnością całego układu opóźnienie wyznaczano przy każdym odbiorze sygnału doprowadzając do aparatury sztuczną falę wytworzoną za pomocą dwu generatorów i następnie modulując ją impulsami sekundowymi z zegara kwarcowego. Przy odbiorze rejestrowano na chronoskopie 20 momentów. Rozbieżności pomiędzy zapisami wynoszą przeciętnie 2 msek. Dokładność samego chronoskopu jest znacznie większa o czym można się przekonać oceniając wyniki rejestracji impulsów sekundowych bezpośrednio z zegara. Rozbieżności między nimi dochodzą wprawdzie do 0,5 msek, ale należy to przypisać niedoskonałości kontaktów mechanicznych oraz przekładni silników synchronicznych, za pomocą których generuje się impulsy sekundowe. Orientacyjnie można więc ocenić, że dokładność odbioru sygnałów w tej grupie jest rzędu 2 msek.

Grupy 2, 3 i 4:

Dzięki obserwacji całego impulsu nie ma się tu do czynienia z opóźnieniem opisanym poprzednio. Występuje tu tylko stałe przesunięcie fazy odbiorników oraz oscylografu. Różnice w odbiorze w tych grupach wynikają głównie z różnych cech odbiorników. I tak w odbiorniku długofalowym nachylenie czoła impulsu jest bardzo małe i odbiór czytelny jest tylko na zakresie odchyłania poziomego oscylografu oznaczonym 40 msek, gdzie 1 msek odpowiada 2 mm na ekranie. Odbiornik częstotliwości 75 kHz daje

już czoło impulsu znacznie bardziej nachylone i możliwa jest obserwacja na zakresie 10 msek ($1 \text{ msek} = 8 \text{ mm}$). Najlepiej nadają się do obserwacji impulsy z odbiornika krótkofalowego szczególnie, gdy korzysta się z wyjścia odbiornika na częstotliwości pośredniej. Obraz impulsu ma tak dużą stromość, że nawet przy zakresie odchylenia 10 msek wygląda jak impuls prostokątny. Dokonuje się zazwyczaj czterech odczytów z oscylografu przy czym rozbieżności wewnętrzne nie przekraczają 0,15 msek dla odbiornika długofalowego, 0,1 msek dla odbiornika częstotliwości i 0,07 msek dla krótkofalowego.

Pobieżna analiza tych danych wykazałaby dosyć duże dokładności odbioru, jednakże kontrole długookresowe wykazują, że sytuacja wygląda zupełnie inaczej. Najlepszą kontrolą zegara i odbiorów sygnałów czasu jest obliczanie chodów ze wskazań zegara. Wykres chodów w ten sposób obliczonych jest praktyczniejszy w użyciu niż wykres wskazań, gdy jest mniej zniekształcony. W rozpatrywanym wypadku można taki wykres porównać z wykresem chwilowych chodów dobowych otrzymanych z odbiorów częstotliwości wzorcowej. Chody w ten sposób otrzymane zostają wyrównane według krzywej II stopnia (wybór stopnia krzywej zostanie omówiony w dalszej części) dla pewnego okresu np. miesiąca lub kwartału. Dzięki porównaniu wykresu wyrównanego oraz otrzymanego z sygnałów, można sporządzić wykres odchylenia chodów z sygnałów od prostej przyjmując krzywą wyrównaną jako linię odniesienia.

Wykres w ten sposób otrzymany jest właściwym obrazem dokładności wskazań zegara otrzymanych z odbiorów sygnałów czasu. Jak pokazują przykłady wykres ten jest znacznie odbiegający od linii prostej. Odchylenia te mogą mieć następujące źródła:

- 1) Błąd niestabilności względnie przesunięcia w czasie impulsu zegara.
- 2) Błąd odczytu impulsu sygnału.
- 3) Błąd przy wyznaczaniu opóźnienia na chronoskopie.
- 4) Błąd wynikający z niestabilności przesunięcia fazy całego toru nadawczo-odbiorczego łącznie z ośrodkiem propagacji.
- 5) Błąd nadania sygnału, wynikający z różnych przyczyn, którego wartości są podawane w okresowych sprawozdaniach Służb Czasu.

Należy teraz rozpatrzeć kolejno wszystkie grupy błędów i ocenić wielkość ich wpływu w warunkach Borowej Góry.

1) Przez niestabilność fazy impulsu należy rozumieć chwilowe jego przesunięcie spowodowane przez niedoskonałość kontaktów mechanicznych silników synchronicznych oraz ich przekładni zębatych. Przesunięcie o charakterze bardziej długookresowym może natomiast nastąpić przy zmianach częstotliwości sterującej w wypadku dużej bezwładności silnika. Błędy wynikające z niestabilności kontaktów oraz przekładni są rzędu $0,1 \div 0,2 \text{ msek}$,

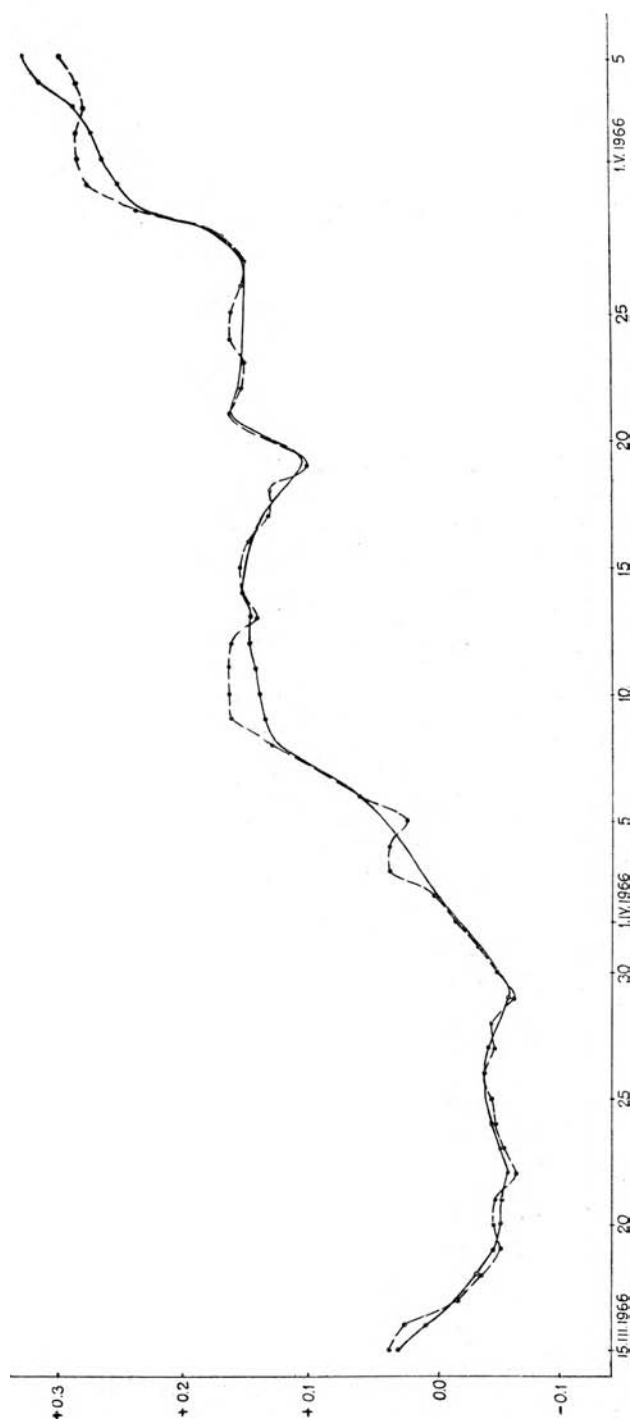
jednakże wymierzenie ich na oscylografie jest z powodu krótkiej poświaty niemożliwe i można je jedynie orientacyjnie ocenić.

Po zainstalowaniu przy silnikach synchronicznych generatorów fotoelektrycznych impulsów sekundowych, niestabilność ich znacznie zmalała i obecnie wynosi kilkanaście mikrosekund. W celu dokładniejszego przesłедzenia zależności impulsów sekundowych od aktualnej częstotliwości generatora, wykonano porównanie chodów zegara wyznaczonych z odbiorów częstotliwości wzorcowej i z sygnałów czasu dla okresu nieregularnej pracy generatora, w którym to okresie częstotliwość jego zmieniała się stosunkowo dużo, występowały minima i maksima oraz punkty przegięcia. Wyniki dowodzą, że silnik synchroniczny wykazywał minimalną bezwładność i reagował na zmianę częstotliwości tak szybko, że przy ówczesnym stanie dokładności odbiorów sygnałów czasu nie było możliwości ustalenia czy różnice wynikające z danych zaobserwowanych pochodzą od bezwładności silnika czy też z błędnego odbioru sygnałów czasu (rys. 20).

2) Dokładność odczytu zarówno chronoskopu, jak i oscylografu jest większa niżby wymagała stosowana do danego przyrządu metoda. Chronoskop daje możliwość odczytu z dokładnością około 0,1 msek przy wyzwaniu impulsem prostokątnym, jednakże przy odbiorze sygnałów, rozbieżności są o rząd większe. Widać więc, że dokładność odczytu nie gra większej roli w kształtowaniu się błędów odbioru. Oscylograf BN 7812 daje według danych firmowych możliwość porównania zegarów z dokładnością pięciu mikrosekund. Odnosi się to jednak tylko do porównań bezpośrednich. Przy porównaniach drogą radiokomunikacyjną otrzymuje się rozbieżności większe rzędu 0,1 msek w zależności od obrazu impulsu na ekranie. Mimo to dokładność odczytu na obu przyrządach służących do porównań ma wpływ znacznie mniejszy od innych czynników.

3) W wypadku porównań na chronoskopie dochodzi jeszcze jedno źródło błędu, mianowicie wpływ zmiany amplitudy sygnału na wielkość przesunięcia fazy całej aparatury rejestrującej. Dwukrotny wzrost amplitudy sygnału w zakresie użytecznym powoduje zmianę opóźnienia o około 1 msek. Należy jednak wspomnieć, że przy propagacji fal ultradługich tego rodzaju wypadki nie zdarzają się. Pewne zaobserwowane wahania amplitudy rzędu 10% występują, i z tej strony należy się spodziewać błędu około $0,1 \div 0,2$ msek. W przypadku odbiorów oscylograficznych ma się do czynienia ze stałym przesunięciem fazy odbiornika i oscylografu, którego zmienność wynikająca z różnych przyczyn może być pominięta jako znacznie mniejsza niż dokładność odbioru.

4) Błędy aparatury nadawczej są zależne od danej stacji, jednakże w obecnym stanie techniki stacje gwarantują dokładność $1 \cdot 10^{-10}$, a niektóre nawet wyższą. Największe źródło błędów leży w długookresowej niestabilności fazy urządzeń odbiorczych oraz w zmiennych warunkach pro-



Rys. 20. Wykres porównań generatora w okresie nieregularnej pracy

pagacji i wyjątkowo dużym poziomie lokalnych zakłóceń. Ilościowy wpływ każdego z tych błędów jest nadzwyczaj trudny do uchwycenia i w zasadzie należy ten problem rozpatrywać łącznie. W pewnych krańcowych wypadkach można dojść do wniosku, że decydującą rolę grają tu wpływy zakłóceń oraz zmiany stanu jonosfery.

5) Błędy momentów nadawania sygnałów mają swe źródło nie tylko w niedoskonałości aparatury, ale wynikają z samej metody nadawania sygnałów. Mianowicie zegar sterujący nadawanie sygnałów czasu jest na bieżąco korygowany w stosunku do czasu obowiązującego, jednakże sam moment nadania sygnału wynika z ekstrapolacji, dotychczasowej krzywej chodu zegara w stosunku do TUC. Ten sposób nadawania sygnałów jest właśnie źródłem błędów, które są wyznaczane po nadaniu sygnału i poprawki sygnałów stąd wynikające są zamieszczane w biuletynach Służb Czasu.

4.4.1. Określenie dokładności odbioru sygnałów czasu

Dla oceny dokładności posłużono się wykresami skonstruowanymi w sposób omówiony w poprzedniej części dla okresów miesięcznych. Z dostępnego materiału drogą losowania przyjęto dane dla czterech okresów miesięcznych i można stwierdzić, że wyniki powinny być miarodajne dla pozostałego materiału. Przyjęto następujące okresy:

1.9.—1.10.66 i 21.5—22.6.66 dla odbiornika długofalowego i chronoskopu,

1.3.—1.4.67 dla odbiorników Elektromekano i oscylografu,

10.7.—10.8.67 dla wszystkich trzech odbiorników oraz dla oscylografu.

Przed wszystkim należy wyjaśnić, jak należy interpretować wykres chodów. Przy bezbłędnie odebranych sygnałach czasu wykres będzie linią poziomą. W wypadku przeskoku impulsu zegara przy prawidłowo odebranych sygnałach czasu, wykres będzie linią poziomą z wzniesieniem względ-



Rys. 21. Szkic fragmentu wykresu chodów przy jednym błędnym odbiorze sygnału czasu

nie opadnięciem w momencie odpowiadającym przeskokowi. Natomiast w wypadku jednego błędnego odbioru sygnału przy prawidłowo zachowującym się zegarze, wykres ma wygląd jak na rysunku 21.

Wykresy dla wszystkich trzech grup są superpozycją takich przesunięć i wygląd ich nie w każdym wypadku jest tak czytelny. Wysokość zafalowania jest miarą przesunięcia sygnału. Analizując wykresy nasuwają się następujące wnioski (rys. 22, 23, 24 i 25).

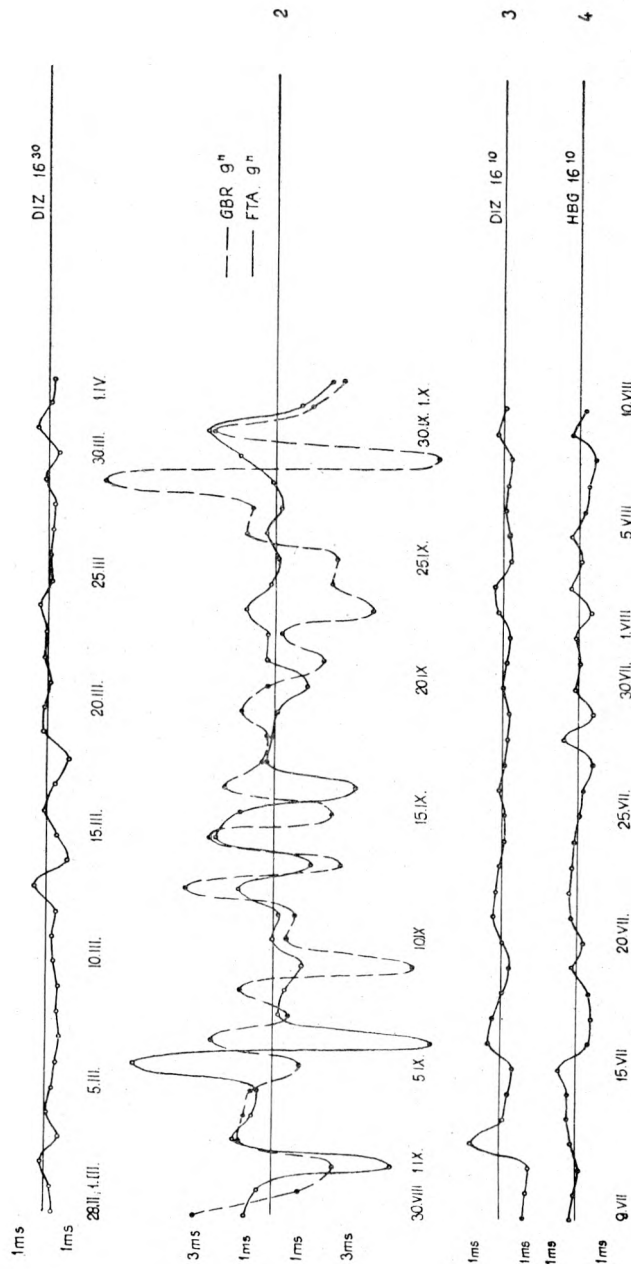
1) Zastosowanie oscylografu znacznie zwiększa w stosunku do chronoskopu dokładność odbioru; widać to wyraźnie porównując wykresy 2, 8, 9, i 10 z pozostałymi.

2) Ze wszystkich odbiorników, wyniki obarczone największym błędem daje odbiornik długofalowy. Nie posiada on automatycznej regulacji wzmocnienia, poza tym jest wyposażony w filtr kwarcowy w znacznym stopniu ograniczający pasmo przepuszczania przez co stromość impulsu jest mała. Odbiornik jest wyposażony w niestabilizowaną kwarem heterodynę i w związku z tym należy przypuszczać, że stąd mogą pochodzić znaczne fluktuacje przesunięcia fazy. Poza tym na wyjściu odbiornika pracuje druga heterodyna, co powoduje, że impuls wyjściowy ma postać narastającej sinusoidy o bardzo małej częstotliwości — 1 kHz co jeszcze pogarsza czytelność obrazu. Widać to przy porównaniu wykresów 6 i 7 z wykresami 1, 3, 4 i 5.

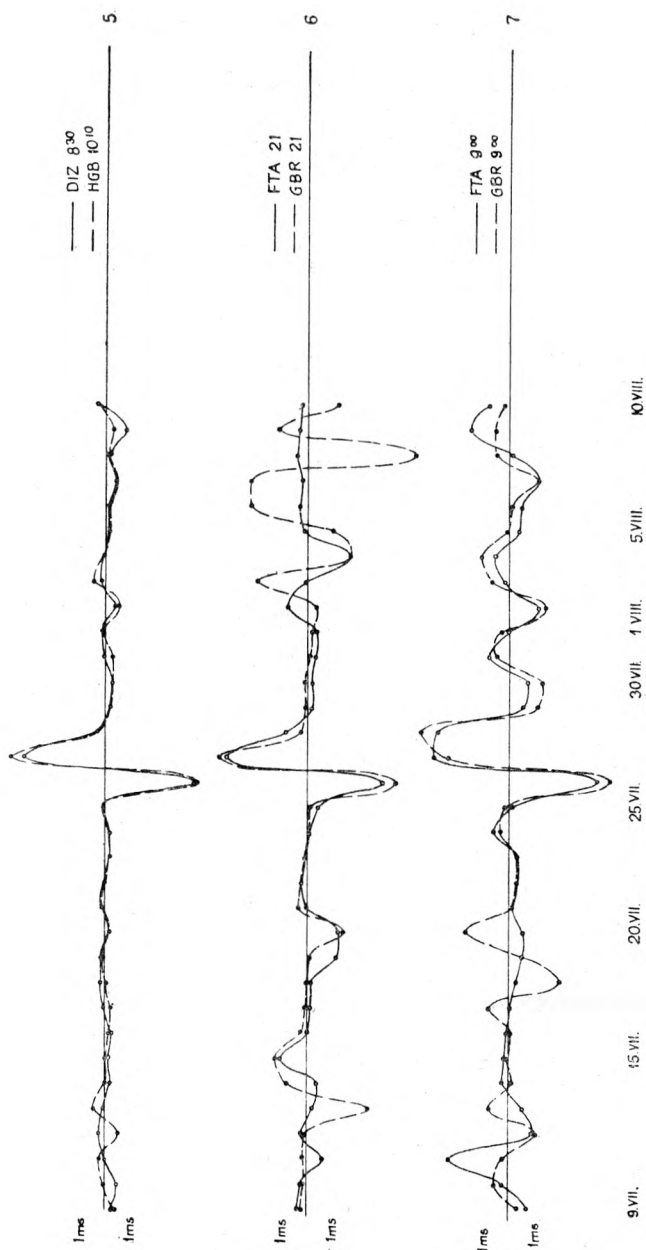
3) Znacznie lepsze wyniki otrzymuje się przy korzystaniu z stałych odbiorników. Oba odbiorniki krótkofalowe są wyposażone w stabilizowaną kwarem heterodynę i posiadają automatyczną regulację wzmocnienia. Odbiornik częstotliwości jest wykonany w układzie bezpośrednim i nie wykazuje większych fluktuacji fazy.

4) Na wykresach 5, 6 i 7 widać charakterystyczne zafalowanie. Przy bardziej szczegółowej analizie pozostałych sygnałów odbieranych w Borowej Górze można stwierdzić, że występuje ono we wszystkich sygnałach w okresie czasu od 26.7.20^h30^m do 27.7.67 11^h30^m. Analiza czynników występujących przy odbiorach w tym czasie prowadzi do wniosku, że mamy tu do czynienia z lokalnym zakłóceniem jonosferycznym. Zjawiska takie są znane w literaturze [7], [16], [28] i [29], a w czasie burz jonosferycznych występują przesunięcia fazy sięgające kilku jednostek 10^{-8} . W tym wypadku przesunięcie sygnałów wyniosło około 3,5 msek. Istnienie zaburzeń jonosferycznych w tym okresie zostało potwierdzone przez Pracownię Badań Jonosfery Instytutu Łączności. Analizując wykresy, a w szczególności piąty, można zauważyć, że zafalowanie to znacznie przekracza pozostałe fluktuacje sygnału. Można zatem traktować wykres jako obciążony grubym błędem i wyeliminować go przy ocenie dokładności odbiorów.

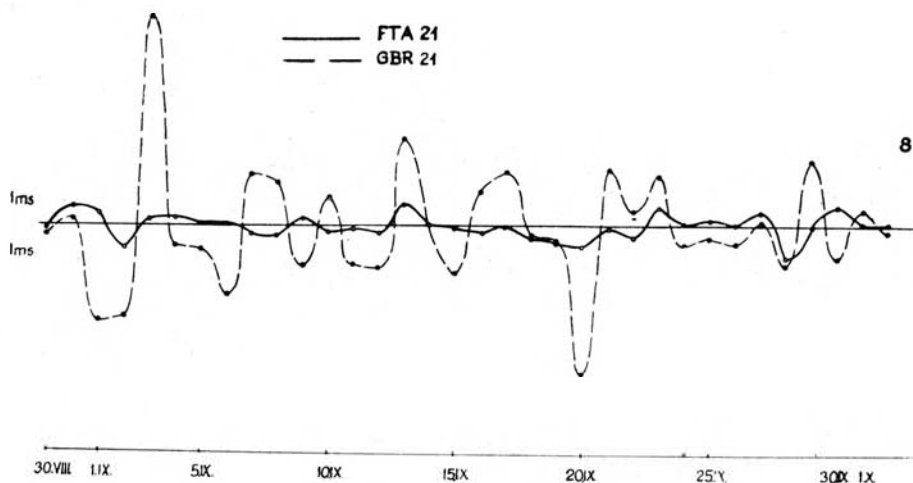
Zestawienie średnich błędów pojedynczego odbioru obliczonych dla okresów miesięcznych i różnych metod odbioru oraz różnej aparatury wygląda następująco:



Rys. 22. Wykresy chodów uzyskanych z sygnałów: 1.-DIZ, 2.-GBR i FTA, 3.-DIZ i 4.-HBG



Rys. 23. Wykresy chodów uzyskanych z sygnałów: 5.-DIZ i HGB, 6.-FTA i GBR, 7.-FTA i GBR



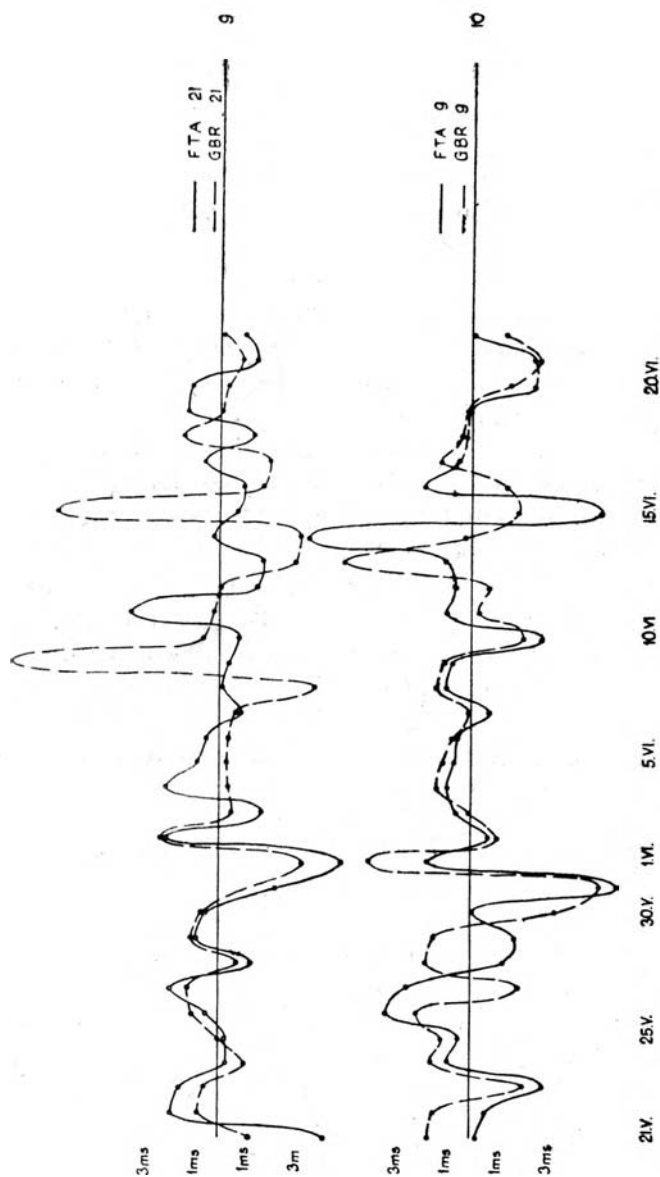
Rys. 24. Wykresy chodów uzyskanych z sygnałów FTA i GBR

1)	Odbiornik	Elektromekano	DIZ	16 55	$\pm 0,26$	msek,
2)	„— —,,	R 250 M		16 00	$\pm 0,30$	msek,
3)	„— —,,	R 250 M	DIZ	8 30	$\pm 0,18$	msek,
4)	„— —,,	częstotliwości	HBG	16 10	$\pm 0,26$	msek,
5)	„— —,,	„— — — —,,		10 10	$\pm 0,19$	msek,
6)	„— —,,	długofalowy	FTA	9 00	$\pm 0,53$	msek,
			GBR	9 00	$\pm 0,57$	msek,
			FTA	21 00	$\pm 0,41$	msek,
			GBR	21 00	$\pm 0,91$	msek.

Wszystkie te wyniki są otrzymywane przy korzystaniu z oscylografu. Poniżej zostaną podane wyniki dwu serii, letniej i jesiennej z 1966 r., dla odbiornika długofalowego oraz chronoskopu.

okres letni	FTA	9 00	$\pm 1,24$	msek,
	GBR	9 00	$\pm 1,66$	msek,
	FTA	21 00	$\pm 1,62$	msek,
	GBR	21 00	$\pm 1,43$	msek,
okres jesienny	FTA	9 00	$\pm 1,42$	msek,
	GBR	9 00	$\pm 1,83$	msek,
	FTA	21 00	$\pm 0,31$	msek,
	GBR	21 00	$\pm 1,69$	msek.

Z zestawienia tego widać, że odbiory wieczorne mają przeważnie gorszą jakość niż ранne z wyjątkiem sygnału FTA, który w godzinach wieczornych jest wyraźnie mniej zakłócony od innych sygnałów. Błąd odbioru



Rys. 25. Wykresy chodów uzyskanych z sygnałów: 9.-FTA i GBR, 10.-FTA i GBR

sygnału FTA na chronoskopie wynoszący $\pm 0,31$ msek należy uznać jako wypadek szczególny nie obrazujący właściwego stanu rzeczy. Przy obecnym stanie wyposażenia Obserwatorium odbiory krótkofalowe są lepsze niż długofalowe, mimo fluktuacji sygnałów krótkofalowych na ekranie oscylografu, o czym była mowa wyżej. Odbiory sygnału długofalowego HBG są znacznie lepsze niż innych długofalowych, mimo że odbiornik ten nie jest przystosowany do odbioru sygnałów czasu i obraz impulsu nie jest zbyt dobry wskutek stałego pola zakłócającego.

4.5. Odbiory częstotliwościowe i czasowe oraz ich porównanie

Jak wynika z dotychczasowych rozważań, przy obecnym wyposażeniu Obserwatorium w Borowej Górze, średni błąd wyznaczenia chodu dobowego z odbiorów częstotliwości jest rzędu $0,050 \div 0,086$ msek. Wielkości te są podane w podrozdziale 4.3.2. jako wynik eksperymentalnych wyznaczeń dokładności odbiorów sygnałów częstotliwości w Borowej Górze.

Średni błąd wyznaczenia chodu dobowego z sygnałów czasu, biorąc pod uwagę nawet najlepsze odbiory krótkofalowe, jest rzędu 1 msek. W Służbie Czasu jednakże sygnały krótkofalowe mają mniejszą wagę ze względu na słabiej zdefiniowane warunki propagacyjne, o czym była mowa wyżej. Rozpatrując wykresy i przebieg poprawek widać, że rozbieżności pomiędzy poszczególnymi odbiorami osiągają rząd kilku milisekund.

Można więc ostatecznie stwierdzić, że dokładność wyznaczenia chodu dobowego z odbiorów częstotliwości wzorcowej jest o dwa rzędy wyższa.

4.6. Wykorzystanie porównań częstotliwościowych do określenia kształtu krzywej chodu zegara kwarcowego

Duże dokładności osiągane przy odbiorach częstotliwości wzorcowej nasuwają możliwość wykorzystania ich w służbie czasu. Ponieważ w wyniku porównania otrzymuje się chwilową wartość chodu dobowego, w celu zdefiniowania go w sposób ciągły należałoby prowadzić odbiory na urządzeniu samorejestrującym. Z powodu braku tego układu w praktyce obserwacyjnej w Borowej Górze dokonywano trzech odbiorów w ciągu doby w godzinach 9, 15 i 21 TU. Dla ściślejszego określenia efektu Doppler'a należałoby dokonywać jeszcze odbioru o godzinie 3 TU, ale ze względów organizacyjnych tego się nie robi. Poza tym wpływ ten jest mniejszy od dokładności odbioru i nie gra istotnej roli.

W praktyce obliczeniowej IGiK, przy wyznaczaniu poprawki zegara z chodów dobowych określonych z odbiorów częstotliwości wzorcowej, korzysta się z zależności (15). Dla określenia kształtu krzywej zmiany chodu zegara wskutek starzenia się rezonatora, przyjęto wyniki z półrocznych

porównań częstotliwości generatora z częstotliwością wzorcową GBR 16 kHz w okresie 1. 1.—30. 6. 1965 r.

Określenie rzędu krzywej wykonano metodą rozwiązywania wielomianów ortogonalnych Czebyszewa. Wyznaczone zostały współczynniki równania najbardziej zbliżonej krzywej oraz zbadany jej rząd, metodą badania wartości liczbowej wyrażenia oznaczonego w symbolice stosowanej przez Czebyszewa [34], jak następuje:

$$[x^n \cdot nK_n^2], \quad (24)$$

gdzie n — rząd wielomianu przybliżającego.

Wyniki otrzymano następujące:

dla 1 stopnia — 0,011221,

dla 2 stopnia — 0,000012,

dla 3 stopnia — 0,000017.

Wysnuć więc można wniosek, że wystarczy przyjąć krzywą 2 stopnia, gdyż przyjęcie 3 stopnia nie powinno wprowadzać istotnej zmiany. Znaczenie lepiej dokładność poszczególnych przybliżeń pokazuje wykres. Obliczone zostały współczynniki równań przybliżających 1, 2 i 3 stopnia:

$$y_3 = 0,00000327x^3 - 0,00007565x^2 + 0,00215886x + 0,109799$$

$$y_2 = 0,00001301x^2 + 0,00151434x + 0,110799$$

$$y_1 = 0,00175143x + 0,110082$$

Jako oś poziomą przyjęto I przybliżenie czyli linię prostą i w stosunku do niej naniesiono punkty parabol 2 i 3 stopnia oraz wartości obserwowanej y (rys. 26).

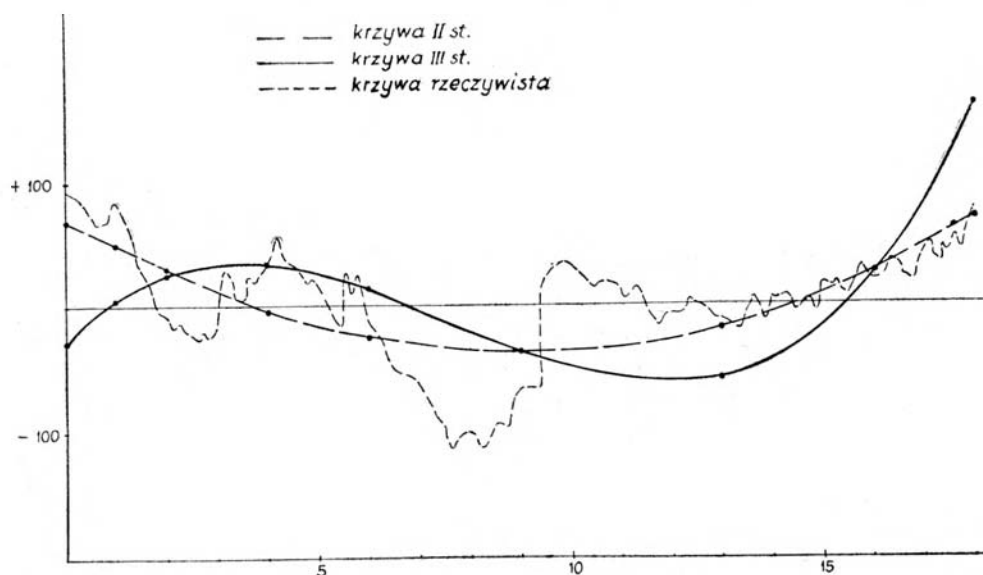
W ten sposób wyeliminowano tylko wpływ starzenia, nie zniekształcając natomiast obrazu krzywych. Na wykresie tym wyraźnie widać, że przybliżenie 2 stopnia jest najbardziej racjonalne i że średni błąd przybliżenia musi być najmniejszy. Wartości błędów z obliczeń wykonanych bezpośrednio metodą Czebyszewa dają obraz niejasny, gdyż dużą rolę grają błędy zaokrągleń. Dla przybliżenia 2 stopnia średni błąd wartości przybliżonej chodu dobowego wypada dla 131 obserwacji $\pm 0,4$ msek/dobę.

4.6.1. Określenie dokładności poprawki zegara uzyskanej drogą sumowania chodów

W celu ustalenia praktycznej przydatności metody sumowania chodów do wyznaczenia poprawki zegara, wykonano sprawdzenie metody dla 2 półrocznych okresów obejmujących 1. 1. 65—30. 6. 65 r. i 1. 6.—30. 11.

1967 r. oraz okresu dwuletniego obejmującego 1. 6. 1966—30. 7. 1968 r. Sprawdzenie wykonano w sposób następujący:

Wyznaczono na każdy dzień dla w/w okresów poprawki zegara z podstawowego sygnału GBR. Następnie wyznaczono również dla każdego dnia poprawki zegara z sumowania chodów dobowych. Dla okresu 1. 6—30. 11. 1967 r., sumowanie wykonano w dwu wariantach, mianowicie



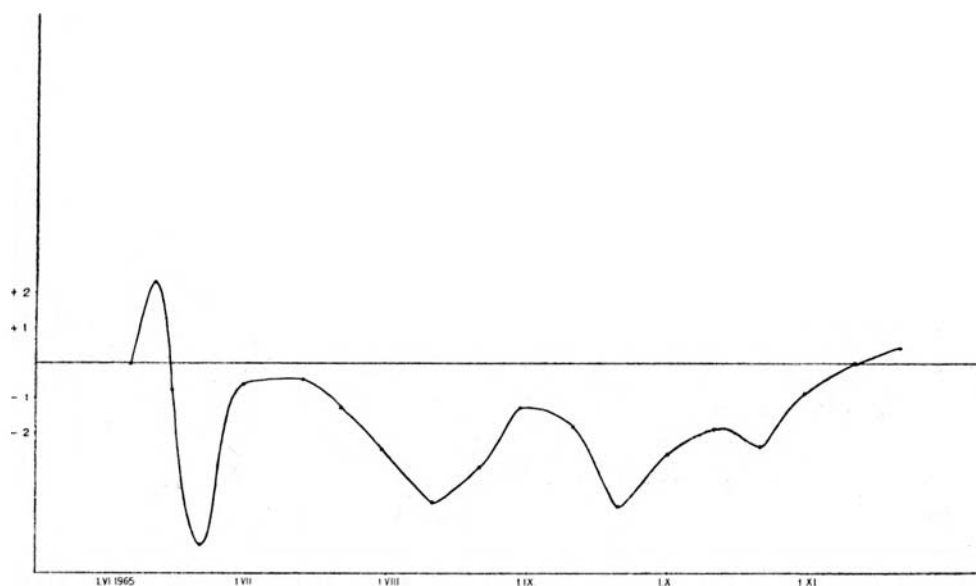
Rys. 26. Wykresy przebiegów chodów: rzeczywistego i przybliżających różnych stopni

dla chodów wziętych z wyrównania do krzywej 2 stopnia oraz dla chodów wziętych bezpośrednio z obserwacji. Następnie dla okresów półrocznych co około 10 dni obliczono różnicę poprawek zegara z sygnałów czasu i z sumowania chodów i naniesiono na wykres. Dla okresu dwuletniego różnice obliczono dla dni oddległych o około 1 miesiąc.

Wprowadzono wszelkie redukcje wynikające ze skokowych zmian chodu spowodowanych przez przestrojenie generatora, ze zmian skokowych w nadawaniu sygnałów czasu oraz z zatrzymań silników. Wprowadzenie poprawek do sygnałów zamieszczanych w okresowych sprawozdaniach Służb Czasu w związku z ich małą zmiennością praktycznie nie zmienia wyników. Ostatecznie otrzymano niżej wymienione wykresy:

W I okresie półrocznym różnice między poprawkami dochodzą do rzędu 5,2 msek. Wykres jest mocno pofalowany, ale nie wykazuje tendencji do rozchodzenia się obu poprawek z upływem czasu (rys. 27).

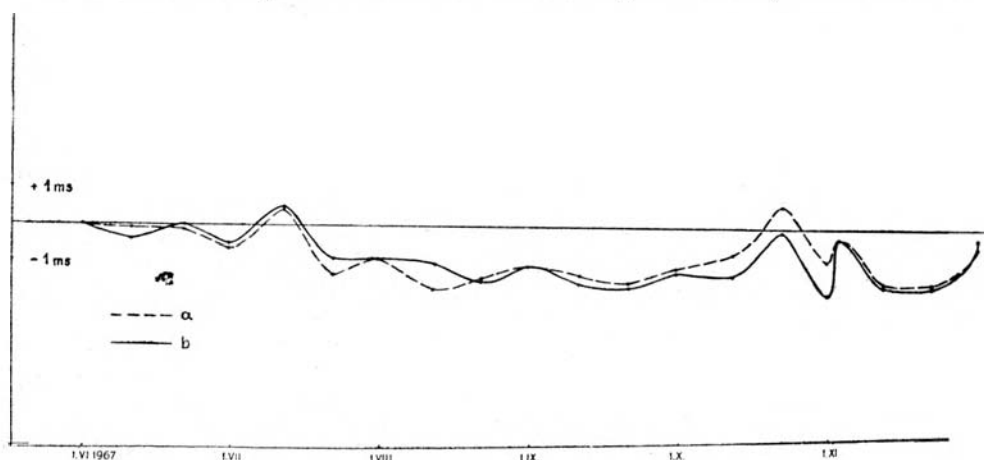
Wykresy w drugim okresie półrocznym oraz w okresie dwuletnim zostały skonstruowane w oparciu o sygnał HBG. Wykres drugiego okresu



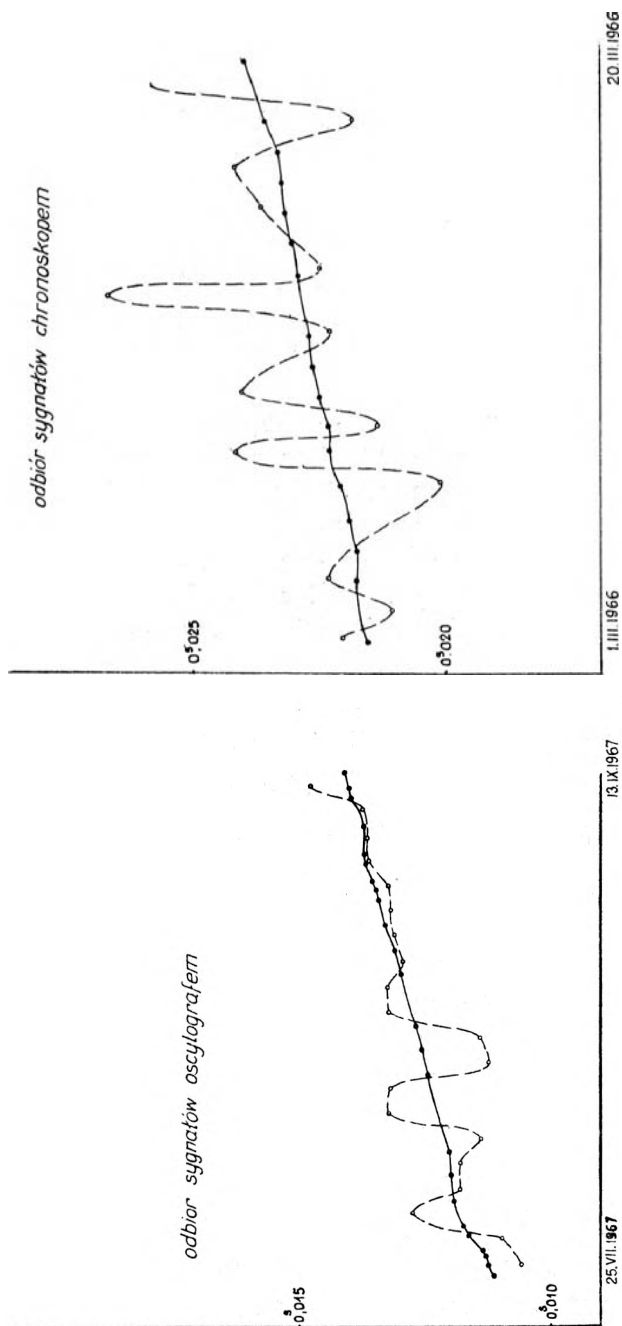
Rys. 27. Wykres różnic poprawek zegara dla I okresu półrocznego

półrocznego posiada znacznie mniejsze falowania dochodzące do 1 msek. Występuje minimalna różnica wynosząca około 0,5 msek między wykresami sporządzonymi dla chodów obserwowanych i wyrównanych. Daje się natomiast zauważyć tendencja do rozchodzenia się poprawek z biegiem czasu (rys. 28).

Jeśli chodzi o wykres dla okresu dwuletniego to maksymalne zafalo-



Rys. 28. Wykresy różnic poprawek zegara dla II okresu półrocznego: a) poprawki z chodów obserwowanych, b) poprawki z chodów wyrównanych



Rys. 30. Fragmenty wykresów chodów uzyskanych z sygnałów czasu i odbiorów częstotliwości

Wykorzystując metodę sumowania chodów dobowych uzyskuje się poprawkę zegara w systemie czasu upływającego w tempie czasu skoordynowanego, jednakże przesuniętego w stosunku do czasu TUC o stałą wartość. Czas TUC przedstawia jak wiadomo linię prostą i czas skoordynowany borowogórski jest prostą o nachyleniu praktycznie takim samym jak TUC. Pewna różnica w nachyleniu prostych może pochodzić z tego, że stacja HBG jest synchronizowana wzorcem nie biorącym obecnie udziału w definicji czasu A3.

Dzięki odbiorom częstotliwości wzorcowej czas skoordynowany może być z wysoką dokładnością przeniesiony na zegar lokalny i w stosunku do niego mogą być prowadzone obserwacje. Dzięki zdefiniowanemu z dużą dokładnością liniowemu przebiegowi czasu przeniesionego do Borowej Góry, obserwacje astronomiczne wyrównuje się do linii prostej. Nie jest natomiast potrzebna znajomość przesunięcia czasu skoordynowanego w Borowej Górze w stosunku do TUC i w związku z tym nie jest istotne dla wyrównania, czy krzywe na trzech wyżej wymienionych wykresach rozchodzą się w stosunku do sygnałów czasu czy nie.

Omawiane wyżej długookresowe porównanie krzywej poprawek zegara, uzyskanej z odbiorów częstotliwości z sygnałami czasu, ma wyłącznie za zadanie pokazanie zalet i możliwości przedstawionej metody.

4.7. Opis metody wyrównywania astronomicznych wyznaczeń poprawki zegara stosowanej w Zakładzie Astronomii Geodezyjnej IGiK

Krzywa poprawek zegara jest ustalana metodą sumowania wyrównanych chodów dobowych wyznaczonych z porównań częstotliwościowych. Sumowanie prowadzi się od 1 czerwca 1966 r. i podlegają mu chody wyrównane w okresach czterdziestodniowych. Z wyrównania wyznacza się chody dobowe na godzinę 3 TU i poprawkę zegara względem TUC BG, po zsumowaniu otrzymuje się na godzinę 15 TU.

Wyrównując chody w okresach czterdziestodniowych otrzymuje się dla 10 dni, gdzie kolejne okresy zachodzą na siebie, dwie wartości chodu z dwu wyrównań. Wartości te różnią się przeważnie o parę setnych milisekundy. Ostateczne wartości chodu ustala się w ten sposób, by zapewnić płynność krzywej zmiany chodu.

W dalszym etapie wyznacza się poprawki zegara względem TU2 BG z obserwacji astronomicznych, redukując otrzymane wyniki o wielkości $\Delta\lambda$ i ΔT_s . Następnie tworzy się różnice $U_{\text{TUC BG}} - U_{\text{TU2 BG}}$ dla wszystkich średnich momentów obserwacji w okresach miesięcznych. Różnice te następnie wyrównuje się według linii prostej. Ponieważ nie zakłada się żadnego warunku dla początkowej rzędnej prostej, co jest równoznaczne z daniem jednakowej wagi wszystkim obserwacjom, wyznaczone z wyrównania

proste przebiegają w sposób najzupełniej dowolny i konieczne staje się uzgodnienie punktów na stykach. Dokonuje się tego wprowadzając krzywą trzeciego stopnia styczną do dwu prostych. Środkowym punktem tej krzywej jest granica rozpatrywanych okresów, a więc koniec miesiąca i początek następnego. Długość krzywej jest różna i ustala się ją każdorazowo w zależności od odchyłki na styku. Poprawki wynikające z zastosowania krzywej trzeciego stopnia nie przekraczają wielkości 5 msek.

Po uwzględnieniu tych poprawek oraz różnic wynikających z dwukrotnego wyrównania chodów oblicza się ostateczny przebieg wyrównanej poprawki zegara w czasie TU2 BG, — $U_{\text{zeg wyr}}^{\text{TU2 GB}}$

Dysponując tą krzywą można ostatecznie dla każdego momentu w danym okresie wyznaczyć różnicę TU2 BG—TUC, której otrzymanie jest ostatecznym celem całej pracy.

L I T E R A T U R A

- [1] Hubman H.: Interkontinentale Zeitvergleiche mit einer transportablen Zesium-Atomuhren. *Elektronik* 1965 Nr 4.
- [2] Kroitzzsch V.: Zeitzuordnung höher Genauigkeit. *Vermessungstechnik* 1963 Nr 6.
- [3] Shigetaka I.: Frequency of caesium resonator on ET determined in Tokyo. *Tokyo Astron. Bull. Tokyo Astron. Observ.* 1964 Nr 165.
- [4] Współczesna Służba Czasu i Częstotliwości Wzorcowych. Praca zbiorowa pod redakcją doc. S. Hahna.
- [5] *Bulletin Horaire* série J 1964.
- [6] Decaux B.: La détermination du temps atomique. *Astronomie.* 1964 Nr 78.
- [7] Pierce J. A.: Intercontinental Frequency Comparison by VLF Radio Transmission. *PIRE* June 1957.
- [8] Tolman J.: Ueber ein Kontinentales System der Zeitgleichheit. *Vermessungstechnik* 1965 Nr 6.
- [9] Raspisanie pieredači signalov točnovo vremeni i obrazcovych častot na 1965 god.
- [10] Nicholson W., Sadler D. H.: Atomic standards of frequency and the second of ephemeris time. *Nature* 1966 Nr 5032.
- [11] Stoyko A. et N.: Amélioration de l'échelle du temps uniforme. *Ann. Franc. Chronom.* 1966 Nr 1.
- [12] Guinot B.: Le temps coordonné. *Ann. Franc. Chronom.* 2/64.
- [13] *Bulletin A et C Observatoire Neuchatel* 1966/67.
- [14] *Bulletin Horaire* 1967 série J.
- [15] Borowski S., Jasiński S., Manczarski S.: Zjawisko Doppler'a w propagacji jonosferycznej. *Arch. Elektrotech.* T. V 1956 r.
- [16] Crichlow W. Q.: Noise investigation at VLF by the NBS. *PIRE* June 1957.
- [17] Guisset J. L., Detrie R., Prins J.: Reception de signaux horaires sur ondes myriamétriques. *Bull. Acad. Roy. Belg.* 1966 Nr 3.
- [18] Stoyko A. et N.: Dureé de propagation des ondes courtes pour les différents distances. *B.H.* 1956 Nr 10 série F.
- [19] Tielpuchowskij N. A.: Opredelenije vremeni prochoždienija signalov korotkovolnovych. *Tr. Astrometričeskoj Konf.* 1960.

- [20] Ptacek V.: The travel Time of radio time signals between Prague and Tokyo 1957—1963. Bull. Astr. Inst. CSRS. 1964.
 - [21] Radecki J.: Międzynarodowa sieć różnic długości geograficznych, Warszawa 1964.
 - [22] Brandt W. E.: Fotoelektričeska ustanovka dla registracii prochoždienii zwiezd. Tr. CNIIGAIK wyp. 112, 1956.
 - [23] Staniewski M.: Badanie aparatury do odbioru sygnałów czasu w Borowej Górze. Prace IGiK 1966.
 - [24] Parcelier P.: Resultats obtenus dans le reception des signaux horaires sur oscilloskope. Ann. Franc. Chron. 1961 Nr 2.
 - [25] Paul H.: Zeitzeichenempfang im Geodätischen Institut Potsdam. Radio und Fernsehen 1965.
 - [26] Iščenko M., Platonov J., Suchov V.: Urządzenie oscylograficzne do odbioru sygnałów czasu. Astr. Žurn. 1960.
 - [27] Zeitzeichenoszillograph BN 7811/12. Wyd. firmy Rohde-Schwarz.
 - [28] Essen L.: Standard Frequency Transmission. Proc. IEE. July 1954.
 - [29] Looney C.: A very low frequency synchronizing system, PIRE 1961 vol. 49.
 - [30] Staniewski M.: Kontrola radiowa częstotliwości zegara kwarcowego. Prace IGiK 1964.
 - [31] Circular Nr 407 Royal Greenwich Observatory.
 - [32] Brandt W. E.: Problemy opredielenija vremieni. Sobšč. Gos. In-ta im. Sternberga. 1967 Nr 150.
 - [33] Bielocerkowski D. Ju.: Ispolzowanie molekularnych generatorov v celach služby vremieni. Tr. 15 Astrometr. Konf. 1960.
 - [34] Čebyšev P. L.: Ob interpolirovani po sposobu najmnienšykh kvadrotov. Soč. T1 1859.
- Przy opracowaniu pewnych sformułowań korzystano poza tym z następujących podręczników akademickich:
- [35] Opalski W., Cichowicz L.: Astronomia Geodezyjna. W-wa 1961.
 - [36] Hahn S.: Podstawy radiokomunikacji. W-wa 1965.
 - [37] Dołgov P. N.: Opriedielenije vremieni pasažnym instrumentom w meridianie. Moskva 1952.

Praca stanowiąca podstawę do uzyskania stopnia naukowego doktora, przyznanego przez Radę Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej w dniu 30 maja 1970 r.

Rękopis złożono w Redakcji w lipcu 1970 r

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ЭТАЛОННОЙ ЧАСТОТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЛУЖБОЙ ВРЕМЕНИ

Резюме

В короткой вступительной части рассматриваются причины необходимости ведения службы времени из геодезической точки зрения. В дальнейшем разбираются вопросы касающиеся организации служб времени и эталонных частот, способов передачи сигналов времени и частоты, системы времени в которых станции передают сигналы времени, а также влияние пропагационных условий на распространение сигналов.

Вторая часть работы содержит описание методов приема сигналов времени начиная с самых простых, практически сегодня уже не применяемых, кончая осциллографическими, применяемыми в настоящее время повсеместно.

При разборе методов приема сигналов времени с использованием хронографов рассматривается проблема изменения фазового сдвига возникающего при изменяющейся амплитуде принимаемого сигнала. Здесь обсуждаются также методы приема сигналов эталонной частоты и обосновано применение фазового метода в дальнейшем.

В третьей части доказывається возможность определения поправки часов путем систематического приема сигналов эталонной частоты и установления тем способом суточных ходов кварцевых часов.

В последней части дан анализ точности приема сигналов времени и сигналов частоты. Доказывается, что по принимаемым сигналам частоты возможно определить суточный ход часов с точностью на два порядка выше, чем по сигналам времени. Методом ортогональных полигонов Чебышева произведено здесь исследования степени кривой старения кварцевого резонатора. В заключении дается практический пример определения поправки часов на основе принимаемых сигналов частоты. Описываемый метод нашел применение при астрономо-геодезических работах Института геодезии и картографии.

MAREK STANIEWSKI

APPLICATION OF RECEPTION OF STANDARD FREQUENCY IN GEODETIC TIME SERVICE

Summary

In a brief preface the author presents arguments explaining why from a geodetic viewpoint a time service is operated. Further on in his paper he discusses problems involved in the way the time service is organized, in standard frequencies, in the manner of emitting signals of time and frequency, in the system of periods in which the stations are emitting signals, and in the effect of a centre of propagation upon the promulgation of time signals.

In part two of his paper the author dwells on methods of reception of time signals, from those most simple which by now have practically been abandoned, to the oscillograph type today commonly in use. In discussing methods of time signal reception connected with chronographs he presents the problem of the variability of phase shifting which occurs when the amplitude of the received signal varies. He also deals with the methods of reception of standard frequency signals, and explains why for further use the phase method has been decided upon.

In part three the author demonstrates, that a clock adjustment can be accomplished by systematic reception of standard frequencies and that in this way one can obtain momentary signals for diurnal runs of a quartz clock.

In the last chapter the author brings an analysis of the accuracy by which signals of time and frequency are received; he indicates that from the reception of the frequency the diurnal run of a clock can be determined with an accuracy two lines higher than from time signals. By the method of Czebyszew's orthogonal multinomials he investigates the curve of quartz generator ageing; and in conclusion the author gives a practical example of the way a clock correction can be determined from the reception of frequencies, as has been applied in the Laboratory of Geodetic Astronomy of the Institute of Geodesy and Cartography.