

## Wiesław MICZULSKI<sup>1</sup>, Albin CZUBLA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii Elektrycznej

<sup>2</sup>Główny Urząd Miar, Zakład Metrologii Elektrycznej, Laboratorium Czasu i Częstotliwości

# Algorytm obliczania odchyżeń radiowej częstotliwości wzorcowej od wartości nominalnej

Dr hab. inż. Wiesław MICZULSKI

Studia na Wydziale Elektrycznym Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze, doktorat na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej, habilitacja na Wydziale Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytetu Zielonogórskiego. Od roku 1973 pracownik WSInż, a następnie Politechniki i Uniwersytetu Zielonogórskiego. Aktualnie dyrektor Instytutu Metrologii Elektrycznej. Specjalizuje się w dziedzinie inteligentnej aparatury i systemów pomiarowych.

e-mail: W.Miczulski@ime.uz.zgora.pl



Dr Albin CZUBLA

Kierownik Laboratorium Czasu i Częstotliwości Zakładu Metrologii Elektrycznej Głównego Urzędu Miar. Studia ukończył w 1994 r. na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, doktorat w 1999 r. Od 2002 r. pracuje w Głównym Urzędzie Miar i zajmuje się metrologią czasu i częstotliwości. Zainteresowania: prowadzenie i wyznaczanie atomowych skal czasu, analiza niestabilności sygnałów czasu i częstotliwości, precyzyjny transfer czasu, niepewność pomiaru. Ok. 10 publikacji.

e-mail: timegum@gum.gov.pl



### Streszczenie

W artykule przedstawiono algorytm obliczania wskaźników odchylenia radiowej częstotliwości wzorcowej WRC od wartości nominalnej. Algorytm ten oparty jest o metodę Data Mining, w której zastosowano metody grupowania, analizy szeregów czasowych i regresji liniowej.

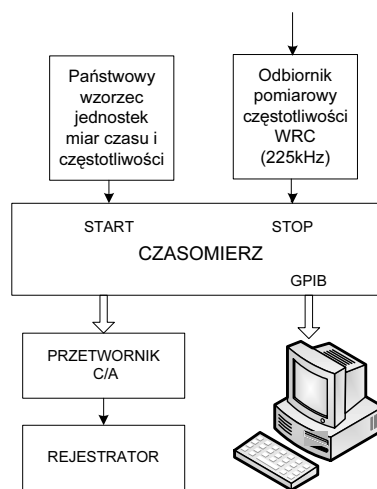
## Algorithm of calculation of standard radio frequency deviation from its nominal value

### Abstract

Time and Frequency Laboratory of Central Office of Measures performs measurements of phase time (Fig. 1) of standard radio frequency WRC 225 kHz with reference to 1 Hz pulse signal taken from the national time and frequency standard. Results of these measurements are recorded on a paper tape with analogue data recorder. The indicators characterizing standard radio frequency deviation from its nominal value are calculated on the basis of appropriate data taken from the record diagram and the relationships from (1) to (8). Putting results of phase time measurements into computer memory requires application of a special algorithm, enabling to calculate indicators of WRC frequency deviation from its nominal value. This algorithm is presented in this paper and is based on Data Mining method, employing clusterization, time series analysis and regression line methods.

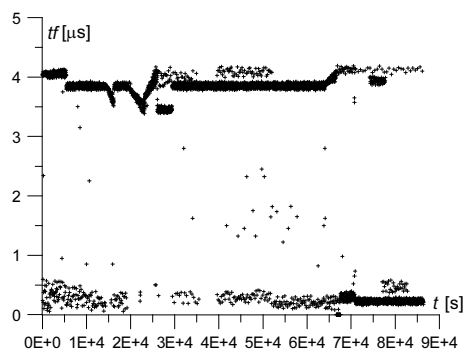
## 1. Wprowadzenie

W Instytucie Metrologii Elektrycznej opracowywany jest na potrzeby GUM zintegrowany system monitorowania i sterowania systemami pomiarowymi państwowego wzorca jednostek miar czasu i częstotliwości. Jednym z elementów zintegrowanego systemu jest moduł monitorowania wzorcowej częstotliwości (WRC) o częstotliwości  $f_{WRC}=225$  kHz, będącej jednocześnie częstotliwością nośną dla emisji Programu I Polskiego Radia S.A. na falach długich. Moduł ten, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 1, umożliwia rejestrację czasu fazowego ( $tf$ ) odbieranego sygnału wzorcowej częstotliwości WRC w odniesieniu do impulsu sekundowego państwowego wzorca jednostek miar i częstotliwości [1]. Pomiar czasu fazowego realizowany jest czasomierzem cyfrowym. Dotychczasowa rejestracja wyników pomiaru czasu fazowego odbywa się rejestratorem w formie wydruku na taśmie papierowej, który jest podstawą do „ręcznego” obliczania wskaźników odchylenia radiowej częstotliwości wzorcowej od wartości nominalnej w postaci dobowego średniego względnego odchylenia częstotliwości WRC ( $v_{dk}$ ) od wartości nominalnej i krótkotrwałych (trwających dłużej niż pół godziny) względnych odchyżeń częstotliwości WRC ( $v_k$ ) od wartości nominalnej za okres każdej doby.



Rys. 1. Schemat blokowy modułu monitorowania WRC  
Fig. 1. Block diagram of WRC monitoring module

W proponowanym rozwiązaniu przewiduje się połączenie czasomierza cyfrowego poprzez interfejs GPIB z komputerem i na podstawie zapisanych w jego pamięci wyników pomiaru czasu fazowego automatyczne obliczanie wskaźników odchylenia częstotliwości WRC od wartości nominalnej. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy rejestrgram wyników pomiaru czasu fazowego za okres jednej doby.



Rys. 2. Rejestrgram czasu fazowego  
Fig. 2. Phase time record diagram

## 2. Wskaźniki odchylenia radiowej częstotliwości wzorcowej od wartości nominalnej

Wartość dobowego średniego względnego odchylenia częstotliwości WRC jest obliczana według zależności [2]:

$$y_{ds} = \frac{-\Delta tf(t)}{t_2 - t_1 - \Delta t_k}, \quad (1)$$

gdzie:

- zmiana czasu fazowego  $\Delta tf(t)$  względem początku  $tf(t_1)$  i końca  $tf(t_2)$  doby z uwzględnieniem skokowych zmian czasu fazowego  $\Delta tf_s(t)$  i krótkotrwałych zmian czasu fazowego  $\Delta tf_k(t)$  wyrażona jest wzorem:

$$\Delta tf(t) = tf(t_2) - tf(t_1) - \Delta tf_s(t) - \Delta tf_k(t), \quad (2)$$

- łączny czas  $\Delta t_k$  pominiętych krótkotrwałych zmian czasu fazowego  $\Delta tf_k(t)$ , który wyznaczany jest z wzoru:

$$\Delta t_k = \sum_{j=1}^m \Delta t_{kj} = \sum_{j=1}^m (t_{k2j} - t_{k1j}), \quad (3)$$

gdzie  $t_{k1j}$  i  $t_{k2j}$  są odpowiednio czasami rozpoczęcia i zakończenia  $j$ -tej krótkotrwałej zmiany czasu fazowego, a  $m$  jest liczbą pominiętych krótkotrwałych zmian czasu fazowego w ciągu analizowanego okresu.

Skokowe zmiany czasu fazowego  $\Delta tf_s(t)$  uwzględniane są jedynie wtedy, gdy zmiany te mają charakter stały, wyraźnie zauważalny i wyznaczane są wg wzoru:

$$\Delta tf_s(t) = \sum_{i=1}^n \Delta tf_{si}(t) = \sum_{i=1}^n [tf_{si}(t_{s2}) - tf_{si}(t_{s1})], \quad (4)$$

gdzie  $tf_{si}(t_{s1})$  i  $tf_{si}(t_{s2})$  są odpowiednio czasami fazowymi przed i po  $i$ -tym skoku, a  $n$  jest liczbą skokowych zmian czasu fazowego w ciągu analizowanego okresu.

Krótkotrwałe zmiany czasu fazowego  $\Delta tf_k(t)$  uwzględniane są jedynie wtedy, gdy zmiany te mają charakter stały, są wyraźnie zauważalne w stosunku do średniego przebiegu czasu fazowego w ciągu analizowanego okresu oraz nie są wyznaczane oddzielnie jako zmiana skokowa lub zmiana czasu fazowego  $\Delta tf_z(t)$  uwzględniana przy obliczaniu  $y_k$ . Krótkotrwałe zmiany czasu fazowego  $\Delta tf_k(t)$  wyznaczane są wg wzoru:

$$\Delta tf_k(t) = \sum_{j=1}^m \Delta tf_{kj}(t) = \sum_{j=1}^m [tf_{kj}(t_{k2}) - tf_{kj}(t_{k1})], \quad (5)$$

gdzie  $tf_{kj}(t_{k1})$  i  $tf_{kj}(t_{k2})$  są odpowiednio czasami fazowymi na początku i na końcu  $j$ -tej krótkotrwałej zmiany.

Wartości krótkotrwałych (trwających dłużej niż pół godziny) względnych odchylen częstotliwości WRC ( $y_k$ ) od wartości nominalnej (których moduły wartości są większe od  $1 \cdot 10^{-10}$ ) wyznaczane są według wzoru [2]:

$$y_k = \frac{-\Delta tf_z(t)}{\Delta t_z}, \quad (6)$$

gdzie:

- zmiana czasu fazowego  $\Delta tf_z(t)$  uwzględniająca redukcję skokowych zmian czasu fazowego  $\Delta tf_{zs}(t)$  wyrażona jest wzorem:

$$\Delta tf_z(t) = tf_z(t_{z2}) - tf_z(t_{z1}) - \Delta tf_{zs}(t), \quad (7)$$

gdzie  $tf_z(t_{z1})$  i  $tf_z(t_{z2})$  są odpowiednio czasami fazowymi na początku i na końcu analizowanego okresu, a skokowe zmiany czasu fazowego  $\Delta tf_{zs}(t)$  wyznaczane są według wzoru (4),

- czas trwania odchylenia  $\Delta t_z$  wyznaczany jest z wzoru:

$$\Delta t_z = t_{z2} - t_{z1}, \quad (8)$$

gdzie  $t_{z1}$  i  $t_{z2}$  są odpowiednio czasami rozpoczęcia i zakończenia analizowanego okresu odchylenia.

## 3. Algorytm obliczania wskaźników odchylen radiowej częstotliwości wzorcowej od wartości nominalnej

Sposób generacji i utrzymywania w przybliżeniu stałej wartości częstotliwości WRC powoduje otrzymywanie wyników pomiarów czasu fazowego, których wartości mogą się zmieniać w zakresie jednego okresu  $T_{WRC} = 4,44(4) \mu s$  (rys. 2). Wobec tego dla potrzeb automatycznego zgłębiania wiedzy o stabilności radiowej częstotliwości wzorcowej niezbędnym staje się odpowiednie przygotowanie zbioru danych zawierających wyniki pomiaru czasu fazowego, zapisywanych w pamięci komputera przykładowo w odstępach 20 s.

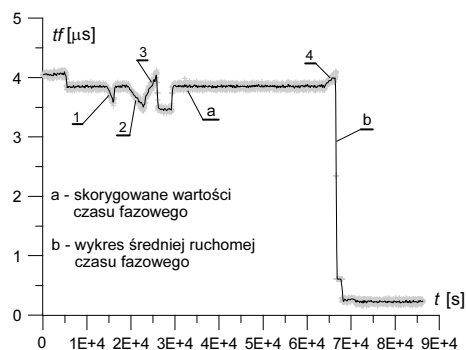
W pierwszym etapie pracy algorytmu zastosowano metodę grupowania [3], w której na podstawie wykonanego histogramu z danych pomiarowych następuje odpowiednie zidentyfikowanie grup danych pomiarowych. Do dalszej analizy wybierana jest ta grupa danych pomiarowych, która określa tendencje zmian czasu fazowego w ciągu 1 doby. Wybrana grupa danych pomiarowych poddawana jest analizie szeregów czasowych [4], w której wyznaczone są ze wzoru (9) wartości średniej ruchomej czasu fazowego  $srtf_i$  dla  $2k+1$  kolejnych punktów pomiarowych.

$$srtf_i = \frac{1}{2k+1} \sum_{j=i-k}^{i+k} tf_j. \quad (9)$$

W drugim etapie pracy algorytmu wszystkim danym pomiarowym z pozostałych grup zdefiniowanych metodą klasteryzacji jak i danym pomiarowym z wybranej grupy w pierwszym etapie, a znacznie różniącym się wartościami czasu fazowego od wartości średniej ruchomej czasu fazowego przypisywane są właściwe wartości średnie ruchome czasu fazowego z odpowiednich chwil czasowych. W ten sposób otrzymano skorygowane wartości czasu fazowego za okres analizowanej 1 doby nie zawierające pojedynczych wartości znacznie różniących się od wartości średnich ruchomych czasu fazowego (rys. 3 – zbiór punktów oznaczony a). Dla otrzymanego zbioru skorygowanych wartości czasów fazowych zastosowano ponownie analizę szeregów czasowych w zakresie obliczania, według wzoru (9), wartości średniej ruchomej czasu fazowego (rys. 3 – krzywa b).

W trzecim etapie pracy algorytmu obliczane są wartości współczynników regresji liniowej [4] dla każdego charakterystycznego fragmentu średnich ruchomych czasu fazowego (rys. 3 – krzywa b) wyznaczonych w drugim etapie pracy algorytmu. Obliczone wartości współczynników regresji liniowej umożliwiają wyznaczenie określonych wartości czasu fazowego dla odpowiadających im wartości czasu  $t$  potrzebnych do wyznaczenia wskaźników odchylen radiowej częstotliwości wzorcowej od wartości nominalnej z zależności (1) i (6).

W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń czterech, odkrytych przez algorytm, wartości krótkotrwałych względnych odchyłek częstotliwości WRC ( $y_k$ ) od wartości nominalnej dla przykładowego zbioru wartości czasu fazowego, przedstawionego na rysunku 3.



Rys. 3. Skorygowane wartości czasu fazowego (a) i wykres średniej ruchomej czasu fazowego (b) (łączonej za pomocą odcinków prostej)

Fig. 3. Corrected values of phase time (a) and graph of phase time running average (b) (connected by line segments)

Tab. 1. Wyniki obliczeń  $y_k$

Tab. 1. Results of calculations  $y_k$

$n$	$y_{kn}$	$t_{z2}$ [s]	$t_{z1}$ [s]	$\Delta t_z$ [min]
1	$1,7 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^4$	$1,44 \cdot 10^4$	27
2	$0,9 \cdot 10^{-10}$	$2,28 \cdot 10^4$	$1,95 \cdot 10^4$	55
3	$-1,6 \cdot 10^{-10}$	<b><math>2,58 \cdot 10^4</math></b>	<b><math>2,29 \cdot 10^4</math></b>	<b>48</b>
4	$-0,5 \cdot 10^{-10}$	$6,63 \cdot 10^4$	$6,42 \cdot 10^4$	35

Zgodnie z przyjętymi zasadami obliczania  $y_k$  (określonymi w rozdz. 2) tylko wynik dla  $n=3$  może być traktowany jako względne odchylenie częstotliwości WRC od wartości nominal-

nej. Pozostałe otrzymane wyniki uwzględniane są w obliczaniu wartości dobowego średniego względnego odchylenia częstotliwości WRC od wartości nominalnej, jako pomijane krótkotrwałe zmiany czasu fazowego  $\Delta t f_k(t)$  w czasie  $\Delta t_k$ . Obliczona przez przedstawiony algorytm wartość  $y_{ds}$ , dla rozważanego przykładu, wynosi  $-0,1 \cdot 10^{-10}$ .

## 4. Podsumowanie

Przedstawiony w niniejszym artykule algorytm komputerowej analizy danych uzyskiwanych z pomiarów czasu fazowego radiowej częstotliwości wzorcowej WRC 225kHz, pomimo dużej złożoności danych wejściowych, prawidłowo odtwarza przebiegi czasowe fazy sygnału WRC odpowiadające bieżącym odchyleniom częstotliwości sygnału od jego wartości nominalnej. Zastosowanie metod grupowania, analizy szeregów czasowych i regresji liniowej pozwala przygotować dane wejściowe do dalszej analizy, która jest prowadzona automatycznie bez konieczności udziału operatora. Implementacja tego algorytmu w systemie pomiarowym kontroli częstotliwości WRC umożliwia pełną automatyzację tego procesu, z wyznaczaniem wskaźników odchyłek częstotliwości WRC od wartości nominalnej w czasie rzeczywistym.

## 5. Literatura

- [1] P. Kartashoff: Częstotliwość i czas. WKiŁ, Warszawa 1985.
- [2] Kontrola radiowej częstotliwości wzorcowej 225kHz (WRC). Instrukcja postępowania. GUM 2003.
- [3] L. Rutkowski: Metody i techniki sztucznej inteligencji. Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., Warszawa 2005.
- [4] S. Brandt: Analiza danych. PWN, Warszawa 1998.

Artykuł recenzowany

## INFORMACJE

### Zapraszamy do publikacji reklam w PAK-u w roku 2006 CENNIK PUBLIKACJI PŁATNYCH na II półrocze 2006 roku

Reklama	Czarno-biała	Kolorowa
I okładka	-	3000 zł
II okładka	-	2700 zł
III okładka	-	2600 zł
IV okładka	-	2800 zł
1 strona (175x225 mm)	1000 zł	1500 zł
½ strony (175x125mm) - pozioma	600 zł	900 zł
½ strony (85x225 mm)- pionowa	600 zł	900 zł
¼ strony (85x125 mm)	300 zł	450 zł
1/8 strony (85/60 mm) - tylko według indywidualnych uzgodnień	200 zł	300 zł

**Artykuły techniczno-informacyjne oraz  
wkładki firmowe wydrukowane przez zleceniodawcę  
ceny według indywidualnych uzgodnień**

Do wszystkich cen doliczamy podatek VAT 22%