

Krajowe porównanie międzylaboratoryjne generatora z mikroprocesorowym symulatorem sygnału z silnika krokowego zegara elektronicznego

Roman Osmyk, Piotr Szterk, Albin Czubla

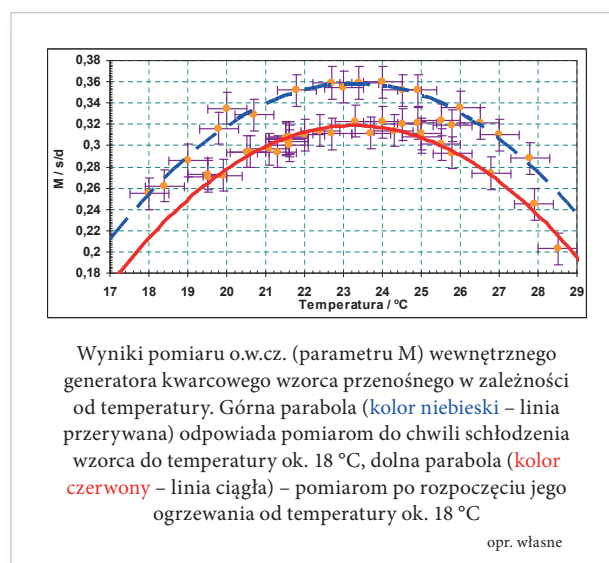
W artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące organizowanych przez GUM krajowych porównań międzylaboratoryjnych w dziedzinie czasu i częstotliwości. Opisano zalety zastosowania jako obiektu porównań generatora z symulatorem sygnału z silnika krokowego zegara elektronicznego i zwrócono uwagę na charakterystykę pracy chronokomparatorów.

Wstęp

Porównania międzylaboratoryjne pełnią istotną rolę w ocenie kompetencji laboratoriów wzorcujących i badawczych [1, 2]. Krajowe porównanie międzylaboratoryjne generatora z mikroprocesorowym symulatorem sygnału z silnika krokowego zegara elektronicznego, przeprowadzone przez Laboratorium Czasu i Częstotliwości Zakładu Elektrycznego Głównego Urzędu Miar (GUM) w 2011 roku, pozwoliło nie tylko na ogólną ocenę poprawności przenoszenia jednostek miar czasu i częstotliwości na przyrządy pomiarowe poprzez wzorcowanie, ale również umożliwiło weryfikację budżetów szacowania niepewności wyniku pomiaru oraz zwróciło uwagę na pewne właściwości charakterystyk metrologicznych chronokomparatorów stosowanych jako przyrządy kontrolne w tego typu pomiarach. Uzyskano w ten sposób znaczącą wartość dodaną.

Wcześniejsze porównania międzylaboratoryjne – z użyciem stopera elektronicznego HS-1000

W roku 2010 i w latach wcześniejszych GUM organizował w dziedzinie czasu i częstotliwości porównania międzylaboratoryjne ze stoperem HS-1000 jako wzorcem przenośnym. Dobór wzorca przenośnego odpowiadał potwierdzeniu zdolności pomiarowej laboratoriów do wzorcowania stoperów sterowanych ręcznie i wszystkie uczestniczące w porównaniu laboratoria uzyskały wynik pozytywny. Jednakże ze względu na typowe parametry metrologiczne tego rodzaju wzorca, jego udział niepewności w końcowym wyniku pomiaru był stosunkowo duży. Podjęta w 2010 roku próba wyznaczenia w stoperze HS-1000 zależności wartości o.w.cz. (odchylenia względnej częstotliwości) wewnętrznego generatora kwarcowego



wego od temperatury otoczenia potwierdziła, że w przypadku tego typu wzorca jest to zależność paraboliczna, ale niestety ze zmiennymi w czasie wartościami współczynników.

Porównanie 2011 roku

Przedmiot porównania

W celu podniesienia precyzji porównania w zakresie potwierdzenia zdolności pomiarowej laboratoriów do wzorcowania stoperów sterowanych ręcznie, w GUM zbudowano wzorec oparty na termostатовanym generatorze kwarcowym (OCXO) o sygnale wyjściowym 5 MHz z niewielką zależnością o.w.cz. od zmian temperatury zewnętrznej w warunkach laboratoryjnych (obserwowany zakres zmian o.w.cz.: ok. $2 \cdot 10^{-8}$ Hz/Hz). Z generatora wyprowadzono trzy przestrajalne sygnały symulujące pracę silnika krokowego zegara elektronicznego odstrojone od częstotliwości 1 Hz (okresu 1 s) w zakresie ± 1 s/d (odstro-

jenie wyrażone w s/d odpowiada względnemu przyrostowi błędu wskazania zegara czy sekundomierza). Elementem symulującym jest cewka, która generuje sygnał impulsowy o parametrach zbliżonych do parametrów sygnału silnika krokowego.

Żądaną wartość odstrojenia sygnału 1 Hz od wartości nominalnej uzyskuje się poprzez podzielenie sygnału 5 MHz przez $5 \cdot 10^6$ z pominięciem lub dodaniem n okresów. Wówczas uzyskuje się sygnał 1 Hz odstrojony o $n/(5 \cdot 10^6) \cdot 86\,400$ s/d od wartości nominalnej, gdzie n to liczba pominiętych lub dodanych okresów.



Generator z mikroprocesorowym symulatorem sygnału z silnika krokowego zegara elektronicznego

fot. arch. własne

Dla potrzeb porównania zasymulowano następujące odstrojenia:

- dla pierwszego symulowanego odstrojenia: $(-0,174 \pm 0,012)$ s/d ($n = 10$),
- dla drugiego symulowanego odstrojenia: $(0,120 \pm 0,012)$ s/d ($n = -7$),

- dla trzeciego symulowanego odstrojenia: $(0,327 \pm 0,012)$ s/d ($n = -19$).

W powyższych wartościach niepewności uwzględniono udział chronokomparatora, użytego do weryfikacji uzyskanych wartości odstrojeń oraz zakładaną maksymalnie czterokrotnie większą niż obserwowaną w GUM niestabilność generatora ($8 \cdot 10^{-8}$ Hz/Hz).

Przebieg porównania

Pomiary w poszczególnych laboratoriach, biorących udział w porównaniu, były wykonywane zgodnie z procedurą pomiarową stosowaną przez dane laboratorium przy wzorcowaniu sekundomierzy sterowanych ręcznie. Uczestnicy porównania wykonywali pomiary za pomocą chronokomparatora i uzyskiwali wartości każdego z trzech symulowanych odstrojeń. Pomiary były przeprowadzane po dwóch godzinach nagrzewania wzorca przenośnego. W celu zapewnienia kontroli o.w.cz. wzorca przenośnego, pomiary w GUM zostały wykonane na początku, w środku i na końcu porównania.

Analiza wyników porównań

Przy ocenie współczynnika równoważności E_i wyników pomiarów za wartość odniesienia przyjęto wyniki pomiarów przeprowadzonych w GUM. Zastosowano następujące wzory:

$$E_i = \frac{M_i - M_{ref}}{\sqrt{U_{M_i}^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

W powyższym wzorze: indeks dolny „i” przy opisywanej wielkości oznacza, że wielkość dotyczy danego

Tabela: Przykładowe wyniki porównania z 2011 r. (dla jednego z symulowanych odstrojeń)

Uczestnik	Wyniki pomiarów (s/d)			$ E_i $		
	przed korektą	po korekcie	wg CMC	przed korektą	po korekcie	wg CMC
LAB 1	$0,138 \pm 0,016$	$0,138 \pm 0,022$	$0,138 \pm 0,022$	0,900	0,718	0,718
LAB 2	$0,143 \pm 0,031$	$0,143 \pm 0,058$	$0,143 \pm 0,069$	0,692	0,388	0,328
LAB 3	$0,110 \pm 0,016$	-	$0,110 \pm 0,016$	0,500	-	0,500
LAB 4	$0,14 \pm 0,06$	-	$0,14 \pm 0,06$	0,327	-	0,327
LAB 5	$0,088 \pm 0,030$	$0,088 \pm 0,055$	$0,088 \pm 0,055$	0,990	0,568	0,568
LAB 6	$0,116 \pm 0,016$	-	$0,116 \pm 0,016$	0,200	-	0,200
LAB 7	$0,096 \pm 0,019$	-	$0,096 \pm 0,026$	1,068	-	0,838
LAB 8	$0,110 \pm 0,014$	$0,110 \pm 0,016$	$0,110 \pm 0,026$	0,542	0,500	0,349
LAB 9	$0,115 \pm 0,021$	$0,115 \pm 0,024$	$0,115 \pm 0,024$	0,207	0,186	0,186

uczestnika porównania, a indeks dolny „ref” przy opisywanej wielkości oznacza, że wielkość dotyczy wartości odniesienia, wyznaczonej przez laboratorium odniesienia. Gdy współczynnik równoważności spełnia zależność tak, że $|E_i| \leq 1$, wówczas wyniki pomiarów są równoważne (zweryfikowane pozytywnie).

W kilku laboratoriach moduł $|E_i| > 0,5$, a dla jednego laboratorium $|E_i| > 1$ (Tab. – kolumny: „przed korektą”). Z analizy przedstawionych budżetów niepewności wynika, że główną tego przyczyną było zwykle zbyt optymistyczne założenie symetrycznego rozkładu zakresu zmian błędu zera chronokomparatora wokół wartości błędu zera po pięciu minutach nagrzewania i brak uwzględnienia mniej korzystnego przypadku, gdy wartość błędu zera po pięciu minutach nagrzewania znajduje się w dolnej lub górnej granicy zmienności. Analizując następnie przebiegi czasowe zmiany wartości błędu zera od czasu włączenia wszystkich chronokomparatorów biorących udział w porównaniu, okazało się, że chociaż okres pięciu minut od czasu włączenia jest wystarczający do wzorcowania stopo-

czyli typowo dwukrotne zwiększenie tego składnika, skutkiem czego laboratoria biorące udział w porównaniu zweryfikowały w tym zakresie swoje instrukcje wzorcowania i przeliczyły ponownie wyniki pomiarów (Tab. – kolumny: „po korekcie”).

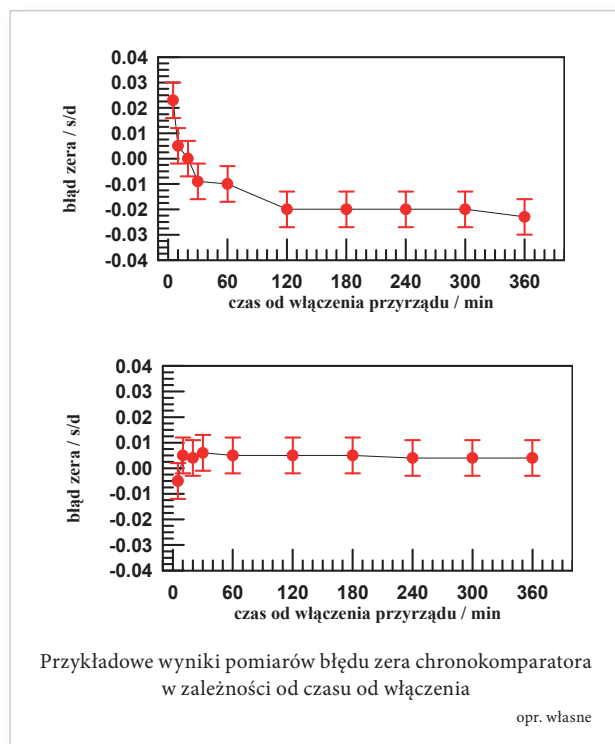
Ponadto, w kilku przypadkach stwierdzono wahania wartości wyniku pomiaru, w pojedynczej serii pomiarowej, w obrębie 3 lub więcej kolejnych wskazań, np. dla LAB 7: 0,18 s/d, 0,19 s/d, 0,20 s/d, 0,21 s/d, co oznaczało, że czujnik chronokomparatora odbierał sygnał zakłócony (LAB 7 wykonywało pomiary w czasie, gdy trwał remont sąsiednich pomieszczeń, gdzie znajdowało się prawdopodobne źródło zakłóceń). Laboratoria powinny w tego typu przypadkach odpowiednio modyfikować warunki pomiaru, np. przez korekcję ustawienia cewki symulującej sygnał z silnika krokowego zegara względem czujnika chronokomparatora, dobór momentu pomiaru, aby uniknąć wpływu zaburzeń zewnętrznych i uzyskać stabilny wynik pomiaru (dopuszczalne są zmiany w zakresie co najwyżej dwu kolejnych wskazań). W zakresie przyjętych przez laboratoria wartości CMC, wszystkie laboratoria uzyskały wynik pozytywny (Tab. – kolumny: „wg CMC”).

Podsumowanie

Porównanie z 2011 roku potwierdziło zdolności pomiarowe we wszystkich laboratoriach biorących udział w porównaniu. Dodatkowo zwrócono uwagę na charakterystykę pracy chronokomparatorów, co przełożyło się na poprawę budżetów niepewności i wiarygodności wykonywanych pomiarów. Obecnie w GUM trwają przygotowania zmierzające do ulepszenia nowego wzorca i zastosowania w nim symulacji sygnału generatora kwarcowego zegarka elektronicznego.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO/IEC 17025:2005 *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących*.
- [2] ILAC P9:11/2010 *Polityka ILAC dotycząca uczestnictwa w badaniach biegłości*.



rów, ale zwykle po tym czasie błąd zera jest właśnie na granicy zmienności.

W efekcie zaproponowano przyjęcie składnika niepewności standardowej związanej z estymatą zakresu zmian błędu zera (ΔM) w postaci:

$$u = \Delta M / \sqrt{3} \quad (2)$$