

Komparacja przetworników termicznych AC/DC metodą dwukanałową

Andrzej Kaźmierczak, Andrzej Kruszyński, Paweł Zawadzki

1. Termiczne przetworniki wartości skutecznej

Podstawowym parametrem metrologicznym każdego przetwornika TVC jest błąd transferowy zwany też różnicą transferową przetwornika. Błąd ten, zgodnie z jego definicją, można opisać matematycznie za pomocą następującego wzoru:

$$\delta_t = \frac{U_{AC} - U_{DC}}{U_{DC}} \Big|_{E_{AC}=E_{DC}} \quad (1)$$

gdzie:

δ_t – błąd transferowy przetwornika,

U_{AC} – wartość skuteczna napięcia wejściowego AC przetwornika,

U_{DC} – wartość napięcia wejściowego DC przetwornika,

E_{AC} – napięcie wyjściowe przetwornika przy sygnale wejściowym AC,

E_{DC} – napięcie wyjściowe przetwornika przy sygnale wejściowym DC.

Znajomość tego parametru pozwala na wyznaczenie wartości skutecznej napięcia AC, podanego na wejście przetwornika, w odniesieniu do znanego napięcia DC. Przetworniki termiczne wartości skutecznej można podzielić pod względem zasady działania na termoelektryczne (jednozłączowe, wielozłączowe) oraz tranzystorowe.

2. Przetworniki termiczne w schemacie spójności pomiarowej GUM

Podobnie jak w Krajowych Instytutach Metrologicznych (NMI) innych krajów, tak i w Głównym Urzędzie Miar (GUM), rolę wzorców odniesienia dla napięć AC pełnią przetworniki TVC. W GUM jest to zestaw przetworników termicznych jednozłączowych Holt Model 11, w skład którego wchodzi termoelementy i rezystory rozszerzające zakresy pomiarowe [1]. Zestaw ten pozwala na odniesienie wartości skutecznej napięcia AC do wzorcowej wartości napięcia DC w zakresie napięć 0,6 V – 1 kV i częstotliwości od 10 Hz do 1 MHz. Różnica transferowa tego wzorca jest wyznaczana względem wzorca PTB (Niemcy), natomiast napięcie DC jest powiązane ze wzorcem państwowym napięcia elektrycznego stałego, utrzymywanym w GUM (złącze Josephsona), poprzez wzorzec napięcia DC – stabilne źródło o wartości 10 V, wykorzystujące w swej budowie właściwości diody Zenera. W zakresie niskich napięć (poniżej 0,6 V) funkcję wzorca odniesienia GUM pełni wielozakresowy półprzewodnikowy przetwornik termiczny Fluke 792A, również odnoszony do wzorca PTB. Dla zakresu napięcia powyżej 0,6 V przetwornik Fluke 792A jest w GUM komparowany z przetwornikiem Holt Model 11 i używany do wzorcowania kalibratorów i multimetrów, gdy wymagana jest szczególnie duża dokładność pomiarów.

3. Komparacja przetworników termicznych

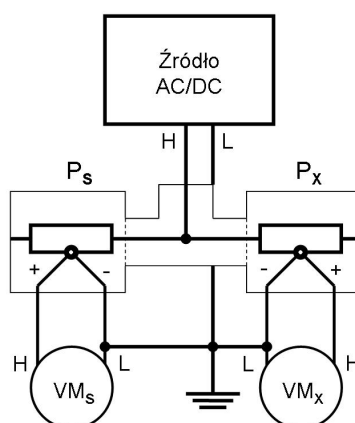
Przeniesienie jednostki napięcia przemiennego z przetwornika odniesienia na przetwornik wzorcowany dokonywane jest w procesie komparacji. W GUM stosowana jest komparacja dwukanałowa [2]. Polega ona na równoczesnym pomiarze napięć wyjściowych obu przetworników (wzorcowego i wzorcowanego), na których wejścia podawane jest napięcie ze źródła AC/DC w sekwencji składającej się z pięciu kroków, kolejno: U_{AC} , $+U_{DC}$, U_{AC} , $-U_{DC}$, U_{AC} .

Arytmetyczne uśrednienie dwóch wartości napięć wyjściowych, będących odpowiedziami przetwornika na wejściowe napięcia $+U_{DC}$ i $-U_{DC}$, minimalizuje jego błąd rewersji.

Uśrednienie trzech wartości napięć wyjściowych, odpowiadających napięciom wejściowym U_{AC} , minimalizuje wpływ krótkookresowych niestabilności przetworników oraz źródła napięcia AC. Dla potrzeb analizy statystycznej wyników wykonywane jest 12 takich sekwencji.

Cechą charakterystyczną metody dwukanałowej jest to, że wartości napięć U_{AC} i U_{DC} nie muszą być sobie równe, gdyż różnica „ $U_{AC} - U_{DC}$ ” oddziałuje jednocześnie, i w takim samym stopniu, na oba przetworniki.

Układ pomiarowy stosowany w GUM przedstawiony jest schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego stosowanego w GUM do dwukanałowej komparacji przetworników termicznych

Różnicę transferową przetwornika wzorcowanego oblicza się zgodnie z następującym równaniem [2]:

$$\Delta_x = \frac{E_{SAC} - E_{SDC}}{n_s \cdot E_{SDC}} - \frac{E_{XAC} - E_{XDC}}{n_x \cdot E_{XDC}} + \Delta_s \quad (2)$$

gdzie:

Δ_x – różnica transferowa przetwornika wzorcowanego,

E_{XAC} – wartość napięcia wyjściowego przetwornika wzorcowanego przy wejściowym sygnale AC obliczona jako średnia z trzech wyników uzyskanych w pierwszym, trzecim i piątym kroku sekwencji pomiarowej,

E_{XDC} – wartość napięcia wyjściowego przetwornika wzorcowanego przy wejściowym sygnale DC obliczona jako średnia z dwóch wyników uzyskanych w drugim i czwartym kroku sekwencji pomiarowej,

- E_{SAC} – wartość napięcia wyjściowego przetwornika wzorcowego przy wejściowym sygnale AC obliczona analogicznie jak E_{XAC} ,
- E_{SDC} – wartość napięcia wyjściowego przetwornika wzorcowego przy wejściowym sygnale DC obliczona analogicznie jak E_{XDC} ,
- n_x – wykładnik funkcji przetwarzania przetwornika wzorcowanego,
- n_s – wykładnik funkcji przetwarzania przetwornika wzorcowego,
- Δ_s – poprawka przetwornika wzorcowego (parametr ze świadectwa wzorcowania przetwornika wzorcowego).

3.1. Równanie pomiaru i szacowanie niepewności dla komparacji przetworników termicznych

Równanie pomiaru różnicy transferowej przetwornika wzorcowanego (Δ_x) można wyrazić jako sumę: różnicy pomiarowej (Δ_B), poprawki wynikającej z braku powtarzalności wyników z serii pomiarowej (Δ_A) oraz poprawki przetwornika wzorcowego (Δ_s), przy pomocy następującego równania:

$$\Delta_x = \Delta_B + \Delta_A + \Delta_s \quad (3)$$

Niepewność pomiaru można wyrazić, jako geometryczną sumę niepewności składników Δ_A , Δ_B i Δ_s :

$$u(\Delta_x) = \sqrt{u(\Delta_B)^2 + u(\Delta_A)^2 + u(\Delta_s)^2} \quad (4)$$

przy czym:

- $u(\Delta_A)$ – niepewność poprawki, wynikającej z braku powtarzalności wyników z serii pomiarowej Δ_A , jest liczona metodą typu A i jest odchyleniem standardowym eksperymentalnym średniej wyników serii pomiarowej,
- $u(\Delta_s)$ – niepewność różnicy transferowej przetwornika wzorcowego Δ_s jest niepewnością szacowaną metodą typu B, a jej wartość uzyskana jest ze świadectwa wzorcowania przetwornika wzorcowego,
- $u(\Delta_B)$ – niepewność składnika Δ_B liczona metodą typu B.

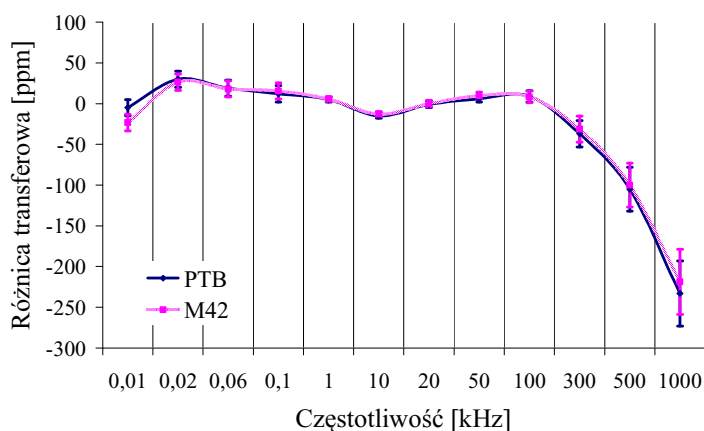
Niepewność $u(\Delta_B)$ można przedstawić w postaci sumy geometrycznej niepewności składników, od których zależy Δ_B , pomnożonych przez odpowiadające im współczynniki wrażliwości, zgodnie z metodą przedstawioną w Przewodniku wyrażania niepewności pomiaru. W rezultacie równanie niepewności pomiaru przy komparacji przetworników termicznych przyjmuje rozwiniętą postać, na podstawie której tworzy się budżet niepewności.

4. Analiza wybranych przykładów

Przeprowadzono wzorcowanie przetwornika Fluke 792A (wzorca roboczego) przy pomocy wzorca odniesienia GUM przetwornika Holt Model 11 dla napięcia 10 V i dla częstotliwości 1 kHz. Zostało ono przeprowadzone metodą dwukanałową przy zastosowaniu schematu połączeń jak na rys. 1. Źródłem sygnału napięciowego AC/DC był kalibrator Fluke 5720. Analiza budżetu niepewności wykazała, że najistotniejszym składnikiem jest niepewność przetwornika wzorcowego. W dalszej kolejności wpływ na niepewność kompa-

racji mają niepewności wskazań stosowanych mierników, co wynika głównie z ich ograniczonej rozdzielczości.

W celu sprawdzenia poprawności pomiarów, wykonywanych w laboratorium M42, porównano wyniki wzorcowania przetwornika Fluke 792A uzyskane w naszym laboratorium z wynikami wzorcowania przetwornika Fluke 792A w PTB. Porównania wyników dokonano dla wartości napięcia 600 mV, w zakresie częstotliwości 10 Hz – 1 MHz. Wyniki uzyskane w GUM zostały przedstawione na tle wyników wzorcowania w PTB na rys. 2.



Rys. 2. Porównanie wyników wzorcowania przetwornika Fluke 792A dokonanych w GUM i w PTB

Wyniki wzorcowania przeprowadzonego w GUM pokrywają się z wynikami wzorcowania dokonanego w PTB. Uzyskano dużą zbieżność obu krzywych charakterystyk częstotliwościowych różnicy transferowej przetwornika. Największe rozbieżności wystąpiły dla skrajnych wartości częstotliwości (10 Hz oraz 1 MHz). W przypadku punktu pomiarowego 1 MHz wyznaczone błędy transferowe przetwornika mieszczą się w zakresach niepewności pomiarów, a w przypadku 10 Hz zakresy niepewności tylko częściowo zachodzą na siebie. Obecnie prowadzone są prace zmierzające do wykrycia przyczyn owych rozbieżności.

5. Podsumowanie

Omówiony przykład budżetu niepewności dotyczy tylko jednego, wybranego punktu pomiarowego. Wzorcowanie przetwornika w pełnym zakresie pomiarowym przeprowadza się dla wielu punktów pomiarowych. Czyni to tę czynność znacznie bardziej pracochłonną. Czas komparacji jednego punktu pomiarowego wynosi ok. 40 minut przy zastosowaniu oprogramowania do pomiarów automatycznych.

Przedstawiony przykład porównania wyników pomiarów dokonanych przez GUM i PTB pozwala na postawienie tezy o poprawności metody pomiarowej komparacji dwukanałowej przetworników TVC stosowanej w GUM.

Literatura

1. Barański A., Ratajczak J., Zawadzki P.: *Przetworniki termoelektryczne AC/DC jako wzorce napięcia przemiennego*. PAK 2007 nr 9bis, s. 38-41.
2. Kampik M.: *Stanowisko do wzorcowania termicznych przetworników wartości skutecznej napięcia przemiennego*. Przegląd Elektrotechniczny, 1, 239-244 (2010).