

Krzysztof STYPUŁA, Barbara KOŻUCH

KALIBRACJA PRZETWORNIKÓW DRGAŃ NA PODSTAWIE NORMY ISO 16063-21: METHODS FOR THE CALIBRATION OF VIBRATION AND SHOCK TRANSDUCERS – PART:21 VIBRATION CALIBRATION BY COMPARISON TO A REFERENCE TRANSDUCER

Streszczenie

W artykule autorzy przedstawili przegląd normy ISO 16063-21: Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer. Dyskusji poddane zostały normatywne wymogi obowiązujące przy kalibracji czujników. Użycie normy ISO przedstawiono na przykładzie sprzętu firmy The Modal Shop, INC. – Model 9155. Dodatkowo zaprezentowana została istotność systemów normalizacyjnych.

WSTĘP

Na wstępie należałoby rozróżnić pojęcia badania i kalibracji. Pojęcie kalibracji, tu równoważne wzorcowaniu jest czynnością wyznaczania i zapisu charakterystyki systemu pomiarowego. Innymi słowy badanie to wyznaczanie wartości charakterystyk, wzorcowanie natomiast ma służyć wyznaczaniu zależności pomiędzy wartościami. [7]

Nasuwa się pytanie do czego tak naprawdę służy i jaki jest sens kalibracji, biorąc pod uwagę zwykle duże koszty takiej „usługi”? Czy jest to może tylko zbędny, kosztowny wymóg narzucany przez zewnętrzne jednostki nadzorujące, a pozbycie się więzów tego wymogu uczyniłoby pomiary łatwiejszymi, tańszymi i szybszymi? Czy jednostki „nieakredytowane”, nie wygrywają pod tym względem z akredytowanymi rywalami na rynku pracy?

Chcąc odpowiedzieć na to pytanie należałoby cofnąć się do historycznych normowych wzorców. Zwróćmy uwagę na jeden z podstawowych wzorców – platyniroidową bryłę znajdującą się w Sèvres – wzorzec metra. Choć obecnie zastąpiono ją modelem laserowym znajdującym się w Brytyjskim Laboratorium Fizyki NLP, nie trudno wyobrazić sobie jak bardzo rozwój cywilizacji zostałby spowolniony, gdyby nie znormalizowano jednostki długości, lecz w dalszym ciągu posługiwano się przybliżonymi jednostkami, takimi jak łokieć lub stopa. [7]

Z tego względu normalizacja wielu dziedzin życia jest tak istotna. A praca organizacji weryfikujących poprawność wykonywania pomiarów niezbędna do ciągłego postępu cywilizacyjnego. Mając ten fakt na uwadze przedstawiciele 25 państw spotkali się w 1946 r. w Londynie w celu powołania nowej organizacji – nazwanej ISO. [9,s.1]

Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO), jako jednostka pozarządowa zrzesza krajowe organizacje normalizacyjne. Każda z organizacji członkowskich może składać projekty zmian lub projekty nowych norm. Jeśli norma uzyska pozytywną opinię $\frac{3}{4}$ członków, zyskuje status oficjalnej normy ISO. Międzynarodowe standardy ustalają specyfikacje światowej klasy dla produktów, usług i systemów w celu zapewnienia jakości, bezpieczeństwa i skuteczności. Służą one ułatwieniu międzynarodowej współpracy w dziedzinie handlu, usług, nauki, techniki etc. [2]

Normy ISO nie są jednak instrukcjami obsługi i nie podają dokładnych opisów jak badanie należy wykonać, a jedynie narzucają

wymogi, które dany rodzaj badania lub dana jednostka produkcyjna musi spełnić, aby badanie mogło być uznane za wiarygodne.

Sprawa dotyczy przede wszystkim akredytowanych laboratoriów badawczych i wzorcujących, które muszą spełniać ściśle określone przepisy i normy. Jednostki, które akredytacji nie posiadają - nie podlegają zewnętrznej kontroli dotyczącej poprawności wyników, które otrzymują. W Polsce organizacją nadzorującą, posiadającą możliwość nadawania oraz cofania akredytacji jest Polskie Centrum Akredytacyjne. „Misją Polskiego Centrum Akredytacji jest działanie na rzecz rozwoju gospodarczego kraju poprzez usuwanie barier technicznych w obrocie towarowym, przy jednoczesnym zapewnieniu ochrony interesów publicznych, takich jak zdrowie i bezpieczeństwo, ochrona środowiska i bezpieczeństwo publiczne.” [6]

1. WZORZEC POMIAROWY I SPÓJNOŚĆ POMIAROWA

Pojęcie wzorca pomiarowego określa funkcję jaką spełnia przedmiot w procedurze wzorcowania innego, stojącego niżej w hierarchii przyrządu lub materiału. Wzorzec, do którego porównywane są inne przyrządy, sam również może służyć jako urządzenie pomiarowe, co tworzy hierarchię przyrządów pomiarowych. Hierarchiczny układ sprawdzeń oraz przenoszenie wartości na kalibrowany przyrząd ukazano na rysunku 1. [7,s.92]

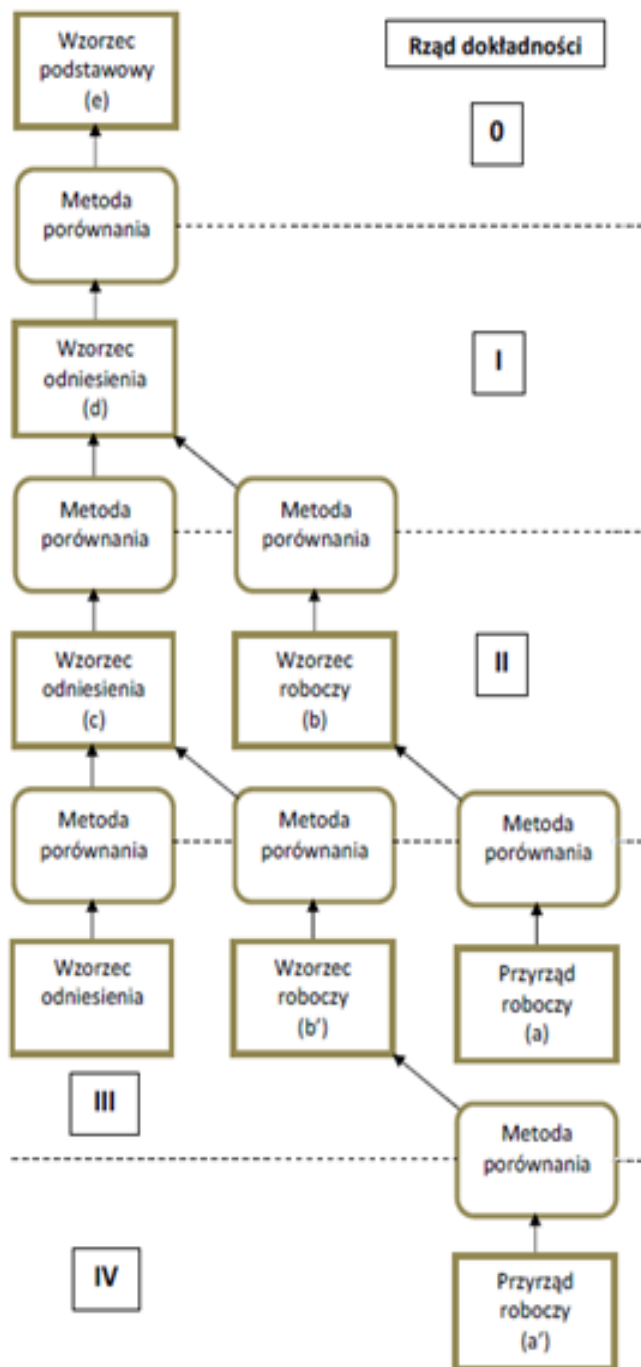
Wartość wzorca podstawowego znajdującego się na szczycie układu przyjmowana jest bez odniesienia do innych wzorców tej samej wielkości. Uznawany jest on za wzorzec charakteryzujący się najwyższą jakością metrologiczną. Rolę wzorca pierwotnego (podstawowego) może pełnić podstawowa metoda pomiarowa, która jest wyczerpujący sposób opisana i zrozumiana, jednocześnie charakteryzuje się najwyższą jakością metrologiczną, a jej niepewność może być wyrażona w jednostkach SI. [7,s.95]

Ciągłość powiązania wyniku pomiaru ze wzorcem jednostki miary (przedstawioną na rysunku 1) określamy terminem spójności pomiarowej. Wynik pomiaru (a lub a') powiązany jest ze wzorcem podstawowym (e) za pomocą „nieprzerwanego łańcucha porównań” (a-b-d-e lub a'-b'-c-d-e). [7,s.94-95]

„Spójność pomiarowa charakteryzowana jest przez sześć podstawowych elementów:

1. nieprzerwany łańcuch porównań do międzynarodowego lub państwowego wzorca pomiarowego,
2. udokumentowaną niepewność pomiaru,

3. udokumentowaną procedurę pomiarową,
4. kompetencje techniczne,
5. odniesienie do jednostek układu SI, wzorców pomiarowych odniesienia lub procedur pomiarowych zawierających jednostkę miary
6. odstępy czasu między wzorcownikami/kalibracjami.” [8, s.3]



Rys. 1. Schemat budowy układu hierarchicznego przyrządów pomiarowych [3]

2. NORMA ISO 16063-21

2.1. Grupa norm 16063

Seria norm ISO 16063 przedstawia metody kalibracji czujników drgań zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i terenowych. Grupa odbiorców normy jest dość szeroka, począwszy od metrologów zajmujących się zagadnieniami drgań, przez techników oceniających charakterystykę drgań maszyny, a skończywszy na inżynierach

zajmujących się wpływem drgań na ludzi oraz budynki. Kluczem stosowania normy jest staranna ocena i specyfikacja niepewności pomiaru. [2]

Pomimo tak rozległego zastosowania normy, do tej pory nie doczekała się ona polskiego tłumaczenia. Daremne jest również szukanie polskiej literatury technicznej przedstawiającej wspomnianą normę. Jedynymi źródłami opisującymi normę ISO 16063 są pozycje obcojęzyczne.

2.2. Kalibracja przez porównanie do przetwornika referencyjnego – opis normy 16063-21 [1]

Informacje zawarte w tym rozdziale służą opisaniu normy w celu wyłącznie informacyjnym. Aby wykonać kalibrację czujników należy zapoznać się z całą normą oraz aktualnie obowiązującymi standardami dotyczącymi kalibracji przetworników.

Zakres stosowania

Część 21 normy ISO 16063 odnosi się do kalibracji przetworników drgań przez porównanie. Pomimo, iż norma dedykowana jest do kalibracji czujników bezpośrednio porównywanych do przetworników kalibrowanych metodami podstawowymi, może być również stosowana do kalibracji na niższych poziomach hierarchii łańcucha porównań, z odpowiednio udokumentowaną niepewnością pomiaru. Szacowana wartość niepewności pomiarowej musi zawierać wszystkie znaczące niepewności pomiarowe mające wpływ na kalibrację.

Pomiary drgań mogą być wykonywane zarówno w warunkach laboratoryjnych (niska niepewność pomiarowa) oraz warunkach terenowych (stosunkowo wysoka niepewność pomiarowa). Zakres częstotliwości do których odnosi się procedura zawiera się w paśmie 0,4Hz – 10 000 Hz. Obligatoryjne jest uwzględnienie warunków środowiskowych kalibracji czujników odniesienia.

Niepewność pomiarowa

Budżet niepewności pomiarowej (zestawienie wszystkich źródeł niepewności występujących podczas pomiaru) tworzymy wg Aneksu A i dokumentujemy zgodnie z Aneksem D omawianej normy.

Dokument rozróżnia dwie możliwości kalibracji i zależnie od kategorii, do której należy proces wzorcowania narzuca warunki, jakie musi on spełnić. W przypadku 1 – przetwornik odniesienia kalibrowany w sposób podstawowy, charakteryzuje się najwyższą wartością metrologiczną. Kalibracja wykonywana jest w dobrze kontrolowanych warunkach laboratoryjnych. Stawia się tu wymóg uzyskania wysokiej dokładności, a niepewność pomiaru należy udokumentować. Przypadek 2 – w tej kategorii klasyfikujemy proces wzorcowania, gdy nie jest wymagana najwyższa dokładność lub warunki kalibracji nie pozwalają na utrzymanie odpowiednio wąskich tolerancji. Przetwornik referencyjny nie jest kalibrowany w sposób podstawowy, ale posiada odtwarzalną ścieżkę kalibracji z odpowiednio udokumentowaną niepewnością pomiaru. Dla obu przypadków minimalnym wymogiem przetwornika odniesienia jest kalibracja w odpowiednich warunkach odniesienia (m.in. częstotliwość, amplituda, temperatura).

Normatywne niepewności pomiaru przedstawiono w tabeli 2. Zależnie od przedziału kalibrowanej częstotliwości oraz klasyfikacji dokładności pomiaru wyznaczono dopuszczalną niepewność. Częstotliwości wzorcowanych akcelerometrów podzielono na trzy charakterystyczne pasma, każdemu przydzielając maksymalny budżet niepewności. Przyjęto zasadę, iż wraz ze wzrostem częstotliwości spada dokładność pomiaru. Najmniej rygorystycznie potraktowano czujniki przyspieszenia o częstotliwościach 2 – 10 kHz dopuszczając odchylenie pomiaru nawet do 10 % dla przypadku 2 kalibracji. Sygnału z przetworników prędkości i przemieszczeń nie dzielono na

pasma, wyznaczając maksymalne niepewności dla całego zakresu 4% i 6% odpowiednio dla 1 i 2 przypadku. Jako dodatkowy, lecz nie obowiązkowy parametr przedstawiono przesunięcie fazowe. W praktyce jednak limity ukazane w tabeli 2, mogą być przekroczone ze względu na niepewność pomiaru czujnika referencyjnego.

Warunki środowiskowe

Wymagane warunki otoczenia podczas kalibracji przedstawiono w tabeli 1. Temperaturą najbardziej optymalną podczas wzorcowania jest temperatura 23°C. W zależności od dokładności wzorcowania możemy pozwolić na odchylenie od wskazanej temperatury do 5 lub 10 °C. Maksymalna wilgotność względna otoczenia nie może przekraczać odpowiednio 75% lub 90%. Temperaturę otoczenia oraz w przypadku 1 temperaturę zmierzoną lub oszacowaną czujnika referencyjnego należy udokumentować i przedstawić w świadectwie wzorcowania.

Tab. 1. Warunki środowiskowe kalibracji [1]

Warunki otoczenia	Przykład 1	Przykład 2
Temperatura pokojowa	23±5°C	23±10°C
Wilgotność względna	75% max.	90% max.

Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej

Przetwornik odniesienia powinien być kalibrowany wspólnie ze wzmacniaczem. Obligatoryjne jest, aby dla przypadku 1 czujnik referencyjny wzorcowany był metodami podstawowymi lub przez porównanie do czujnika zgodnie z metodami podstawowymi z rozszerzoną niepewnością 0,5% (wielkość) i 0,5° (przesunięcie fazowe) w odpowiednich częstotliwościach referencyjnych i odpowiednich przyspieszeniach. Wyższe wartości niepewności są akceptowalne przy wysokich i niskich częstotliwościach. Odpowiednio dla przypadku 2 czujnik referencyjny jest kalibrowany odpowiednimi i znanymi metodami ze spójnością pomiarową do czujnika podstawowego. Niepewność pomiarowa powinna być mniejsza niż 2% (wielkość) i 2° (przesunięcie fazowe). Jak wyżej wyższe wartości niepewności są akceptowalne przy wysokich i niskich częstotliwościach.

Przetwornik odniesienia może być typu „back-to-back” przeznaczony do bezpośredniego mocowania kalibrowanego przetwornika na górze przetwornika referencyjnego w konfiguracji „back-to-back”. Mocowanie czujnika może być również realizowane poprzez uchwyty mocowane od spodu przetwornika odniesienia – odpowiednio dla przetwornika. Nie zaleca się montażu dwóch przetworników obok siebie, ze względu na możliwość wystąpienia dodatkowego ruchu kołysania podczas kalibracji, co w wielu przypadkach mogłoby generować istotne błędy pomiaru. Przetwornik referencyjny może być integralną częścią elementu ruchomego wzbudnika.

Stacyjne lub dynamiczne odkształcenia bazy powierzchni mocowania nie powinny nadmiernie wpływać na wynik kalibracji.

Wszystkie powierzchnie montażowe między czujnikiem referencyjnym a kalibrowanym powinny spełniać odpowiednie zalecenia dotyczące płaskości i chropowatości. Do wzorcowania wysokich

częstotliwości konieczna jest ścisła tolerancja. Wartość chropowatości powierzchni na której ma być zamontowany czujnik wyraża się jako średnią arytmetyczną odchylenia $R_a < 1\mu\text{m}$. Spłaszczenie obu powierzchni powinno być takie, aby przestrzeń zawarta między nimi wynosiła $5\mu\text{m}$ na obszarze odpowiadającym maksymalnej powierzchni montażowej wzorcowanego czujnika. Wiercone i gwintowane otwory do podłączenia przetwornika powinny posiadać prostopadłą tolerancję do powierzchni $< 10\mu\text{m}$, czyli oś otworu powinna zawierać się w strefie cylindrycznej z $10\mu\text{m}$ średnicy i wysokości równej głębokości otworu. Powierzchnia montażowa powinna być prostopadła do kierunku ruchu, a wszelkie odchylenia od prostopadłości powinny być brane pod uwagę w budżecie niepewności.

Przy oprzyrządowaniu do pomiaru napięcia można rozważyć dwa alternatywne ustawienia. Pierwsze – używa się pojedynczego pomiaru napięcia prawdziwych r.m.s. na wyjściu wzmacniacza przetwornika. Dane wyjściowe z przetwornika odniesienia i przetwornika do kalibracji mierzy się kolejno, a wyjście przetwornika odniesienia co najmniej 2 razy. Uzyskane wartości powinny spełniać odpowiednie normowe wartości. Ustawienie drugie – używany jest stosunek pomiaru napięcia urządzenia między wyjściami wzmacniaczy przetwornika. Sprzęt powinien spełniać normową charakterystykę.

Oprzyrządowanie do pomiaru zniekształceń zdolne do pomiaru całkowitego zniekształcenia harmonicznego potrzebne jest tylko do pomiaru sinusowych kalibracji i nie jest zawarte w standardowej procedurze. Używane jest w celu sprawdzenia sprawności sprzętu wytwarzającego drgania początkowe a następnie w odpowiednich odstępach czasu lub w razie potrzeby.

Oscyloskop lub podobny wyświetlacz może być używany do badania przebiegów sygnałów przetwornika. Jego zastosowanie jest wskazane lecz nie obowiązkowe.

Kalibracja

W kalibracji preferuje się sześć częstotliwości, każdą z skojarzonym przyspieszeniem (amplituda lub wartość r.m.s.) i jednakowo obejmujący zakres przetwornika. Powinny być korzystnie wybrane z następujących serii:

– przyspieszenie (m/s^2) – 1, 2, 5, 10 lub wielokrotność dziesięciu; jeśli stosowane są sygnały szerokopasmowe wartości te są wartościami całkowitymi r.m.s.

– częstotliwość – wybrane ze standardowej 1/3 oktaowej serii częstotliwości; jeśli stosowane są sygnały szerokopasmowe żądany zakres powinien być pokryty w jednej lub więcej kalibracji.

Korzystnie jest wybierać wartości takie same, jak były używane przy kalibracji czujnika referencyjnego. Jeśli czujnik jest wzorcowany w częstotliwościach lub przyspieszeniach innych niż te, w których przetwornik referencyjny był kalibrowany, charakterystyki czujnika referencyjnego powinny być oszacowane w tych częstotliwościach i przyspieszeniach. Powstały składnik niepewności będzie brany pod uwagę w budżecie niepewności.

Gdy kalibracja wykonywana jest przy użyciu nowego ustawie-

Tab. 2. Osiągnięte niepewności pomiarowe i przesunięcia fazy [1]

Warunki otoczenia	Przykład 1	Przykład 2
Wielkość		
Akcelerometry (0,4Hz-1 000 Hz)	1%	3%
Akcelerometry (1 000Hz-2 000 Hz)	2%	5%
Akcelerometry (2 000Hz-10 000 Hz)	3%	10%
Przetworniki przemieszczeń i prędkości (20Hz-1 000Hz)	4%	6%
Przesunięcie fazy		
W warunkach odniesienia (zgodne z normą 16063-11:1999)	1°	3°
Zewnętrzne warunki odniesienia	2,5°	5°

nia lub nowego przetwornika, dobrze jest wykonać kalibrację więcej niż jeden raz w celu zapewnienia odpowiedniej powtarzalności i uniknięcia błędów grubych.

Ważne, aby upewnić się, że ruch kabla i odkształcenia podstawy nie wpływają znacząco na wynik pomiaru, szczególnie w niskich częstotliwościach. Zmieniając mocowanie kabla, montaż przetwornika lub oba i notując wyniki pomiarów i zniekształcenia harmoniczne można ocenić skutki spowodowane tymi zmianami. Jeśli zmierzone czułości lub zniekształcenia nie zmieniają się znacząco w porównaniu do niepewności pomiaru, wpływy te mogą być pominięte. Warunki montażu przetwornika powinny być powtarzalne. Można to sprawdzić przez kilkukrotny montaż przetwornika i sprawdzenie czułości przetwornika przy każdym kolejnym mocowaniu.

Jeśli badany przetwornik nie jest kalibrowany w połączeniu z towarzyszącym kondycjonerem sygnału lub wzmacniaczem, wzmocnienie i pasmo przenoszenia (wielkości i w razie potrzeby przesunięcie fazowe) ze złożonej czułości kondycjonera sygnału lub wzmacniacza używanych z przetwornikiem w badaniu powinny być określone w sprawdzalny sposób na wszystkich częstotliwościach pomiarowych.

Jeśli jakiegokolwiek odchylenia, znaczące w porównaniu do pożądanej niepewności, występują w powyższych testach, powinny być określone przez dokonanie odpowiedniej ilości powtarzalnych pomiarów, w celu uzyskania dobrego oszacowania odchylenia. Anomalia ta musi być uwzględniona w budżecie niepewności. Jest to szczególnie ważne, gdy pomiar nie jest wykonywany w częstotliwościach i amplitudach, w których był kalibrowany przetwornik referencyjny.

Powierzchnię przetwornika odniesienia (lub urządzenia) i przetwornika do kalibracji należy zbadać, w celu sprawdzenia, że są one wolne od wszelkiego rodzaju zadrapań itp. i że są zgodne z wcześniejszymi wspomnianymi specyfikacjami (podrozdział 2.2).

Przetwornik przeznaczony do kalibracji łączymy metodą „back-to-back” lub w linii w uchwycie na wibratorze lub bezpośrednio na wibratorze, którego główną część stanowi roboczy czujnik odniesienia. Montaż należy wykonać przy użyciu zalecanego momentu obrotowego. Poniżej ok. 5 kHz dopuszcza się użycie dobrego osprzętu ze znanymi charakterystykami między przetwornikami. W wyższych częstotliwościach stosuje się bezpośrednią konfigurację „back-to-back” lub integralny roboczy przetwornik odniesienia.

Woltomierz, przełącznik, generator i miernik fazy często są zastępowane oprzyrządowanym dwukanałowym (np. dwukanałowy analizator z wewnętrznym generatorem lub wskaźnik miernika napięcia) z wystarczającą dokładnością.

Przed kalibracją należy zmierzyć stosunek dwóch wyjść i względnego przesunięcia fazowego (jeśli jest to konieczne). Należy określić czułość przy częstotliwościach odniesienia, dla akcelerometrów korzystnie wybrać wartość 160 Hz (drugi wybór 80 Hz), a przy przyspieszeniu odniesienia, dla akcelerometrów korzystnie wybrać 100 m/s² (inne wybory 10, 20 lub 50 m/s²), a następnie określić czułość na innych kalibrowanych częstotliwościach i przyspieszeniach. Wyniki podawane są w wartościach bezwzględnych i/lub jako względne odchylenie (% lub dB) i w stopniach odchylenia od czułości w punktach referencyjnych.

W przypadku czujników montowanych za pomocą kołków, cienka warstwa lekkiego oleju, wosku lub smaru powinna być wykorzystywana między powierzchniami montażowymi przetworników i wibratorów, szczególnie w przypadku kalibracji wykonywanych przy wysokich częstotliwościach.

3. STACJA KALIBRACJI AKCELEROMETRÓW MODEL 9155 - SYSTEM THE MODAL SHOP, INC

Stacja kalibracji akcelerometrów Model 9155 oferuje możliwość wzorcowania czujników piezoelektrycznych metodą „back-to-back” zgodnie z normą ISO 16063-21. Dwiema podstawowymi zaletami systemu jest zgodność z obowiązującymi normami oraz automatyzacja kalibracji. [4]

3.1. Oprzyrządowanie

System kalibracji akcelerometrów składa się z następujących elementów:

- sterownik Windows PC
- zautomatyzowane oprogramowanie użytkownika
- sprzęt do akwizycji danych
- wzbudnik
- wzmacniacz mocy
- akcelerometr odniesienia
- przetwornik referencyjny

Aparatura wraz z oprzyrządowaniem zapewnia dokładne kalibracje z łańcuchem powiązań kalibracji PTB¹ i/lub NIST². Ponadto system zawiera wszystkie kluczowe składniki do wykonania wzorcowania z odpowiednią spójnością pomiarową i odpowiadającą międzynarodowym wymaganiom. Kalibracja może być wykonywana nawet w czasie poniżej jednej minuty na osł czujnika. Ponadto posiada funkcję drukowania certyfikatów kalibracji zgodnych ze standardami ISO. [4]

3.2. Zasada działania

Model 9155 tworzy wysokiej jakości środowisko dedykowane do spełnienia wymagań normy ISO 16063-21. Schemat działania systemu przedstawiono na rysunku 2. Kalibrowany czujnik (SUT) zgodnie z konfiguracją „back-to-back” przymocowany jest bezpośrednio do czujnika referencyjnego (REF), będącego integralną częścią wzbudnika. Akcelerometry poddawane są jednakowym przyspieszeniom wejściowym. W konsekwencji stosunek czułości obu przetworników jest stosunkiem zmierzonych wyjść. Porównanie przeprowadza się przy użyciu oprogramowania sterującego, mierząc wyjścia przetworników dla każdej częstotliwości. Sygnały przekazywane od przetworników przez system akwizycji danych zostają przetworzone za pomocą dyskretnej transformaty Fouriera, uzyskując czułości obu przetworników obliczone zgodnie ze wzorem poniżej [5, s.50]. Automatycznie wysyłany zostaje sygnał do wzmacniacza, a następnie wzbudnika o pożądanej kalibracji, który wprawia w wibrację przetworniki. Ostatnim produktem tak powstałej pętli jest wyświetlenie czułości przetwornika testowanego oraz analiza i oznaczenie zakresu, a także dopuszczalnych granic odchylenia mierzonych częstotliwości.

$$S_{SUT} = \frac{V_{SUT}}{V_{REF}} \cdot S_{REF} \cdot DAQ_{corr} \cdot SC_{corr} \cdot SC_{conv} \cdot \frac{1}{EXT_{gain}} \cdot ML$$

gdzie:

- S_{SUT} – Wielkość czułości czujnika kalibrowanego
- S_{REF} – Wielkość czułości czujnika referencyjnego
- V_{SUT} – Napięcie wyjściowe czujnika kalibrowanego
- V_{REF} – Napięcie wyjściowe czujnika referencyjnego
- DAQ_{corr} – współczynnik korekcji pozyskiwania danych
- SC_{corr} – współczynnik korekcyjny kondycjonera sygnału
- SC_{conv} – współczynnik przeliczeniowy oczekiwanej jednostki

¹ PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt – niemiecka organizacja metrologiczna

² NIST – National Institute of Standards and Technology – amerykańska spełniająca funkcję głównego urzędu miar

EXT_{gain} – zysk zewnętrzny użytkownika
ML – korekta masy

WNIOSKI

Zlecając badania lub wzorcowania musimy zwracać uwagę, czy jednostka, której powierzamy usługę ma odpowiednie do tego uprawnienia. Wiarygodność wyników może być potwierdzona przez organizacje zewnętrzne takie jak Polskie Centrum Akredytacyjne lub przez uczestnictwo w systemie krajowych i międzynarodowych porównań międzylaboratoryjnych.

Bardzo istotna jest praca organizacji tworzących normy i procedury jak np. Polski Komitet Normalizacyjny lub międzynarodowa organizacja ISO. Bez wyznaczonych standardów nauka, przemysł i usługi nie musiałyby spełniać kryteriów jakościowych. Praca laboratoriów, których władze zaczęłyby przedkładać ilość (a co za tym idzie zysk) nad jakość, mogłaby znacząco obniżyć poziom.

Wzorcowanie, które jest sprawdzeniem jakości i zgodności sprzętu do badań musi spełniać bardziej rygorystyczne wymogi niż samo badanie. Błąd wykonany przy wzorcowaniu aparatury będzie powielany podczas badań wykonywanych tą aparaturą, co nie będzie miało miejsca w drugą stronę – błąd badania, nie będzie wpływał na jakość wzorcowania.

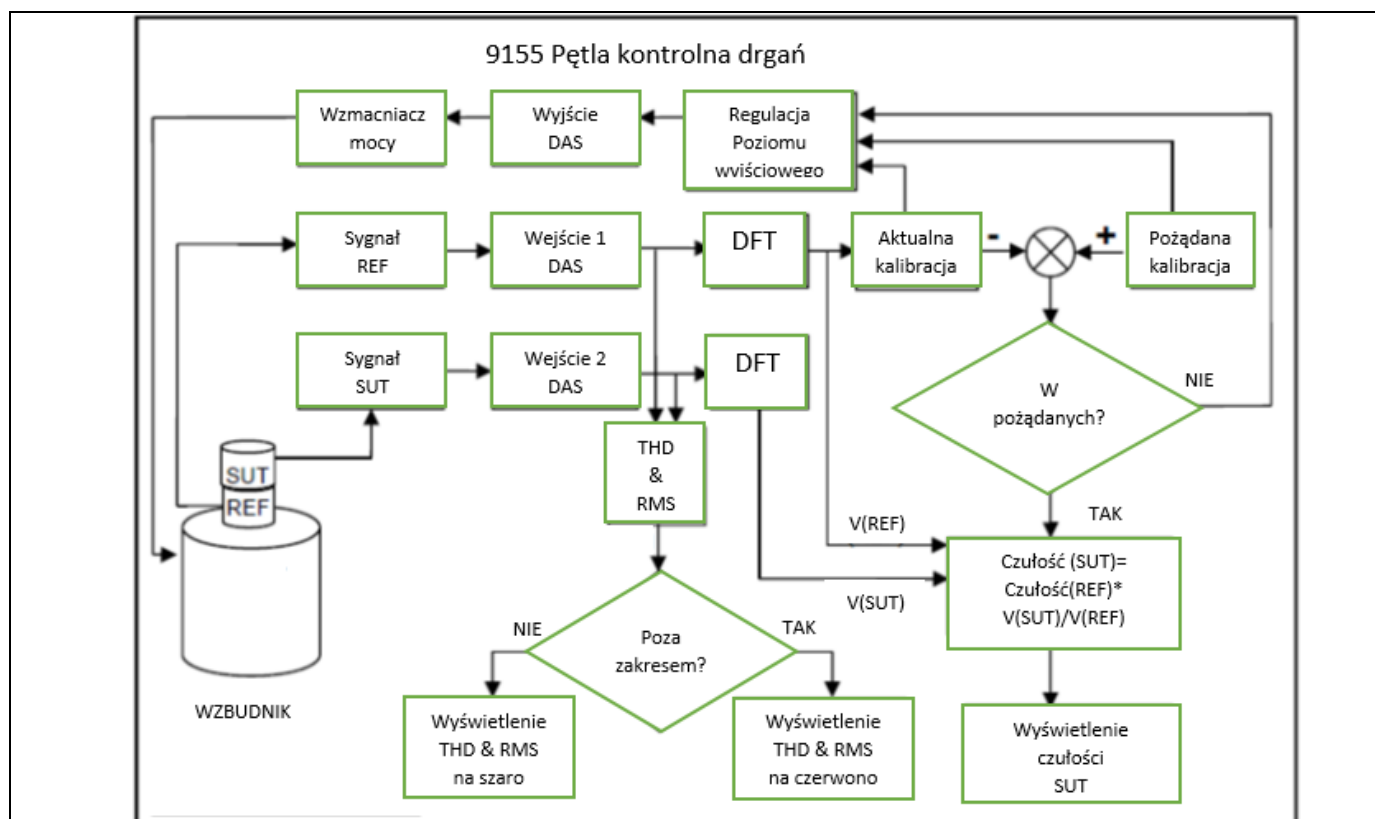
Mając na uwadze powyższe, norma ISO 16063-21 bardzo dokładnie precyzuje warunki jakie muszą być spełnione podczas kalibracji czujników drgań. Dokładnie określone standardy systemowe, warunki środowiskowe, a przede wszystkim dopuszczalne błędy niepewności pomiaru nie pozwalają na dowolność w interpretacji znaczenia kalibracji czujników drgań. Czujnik wzorcowany w oparciu o normę ISO może być bez problemu używany w różnych państwach, nie tylko w kraju w którym był kalibrowany.

Zautomatyzowany system firmy The Modal Shop, INC. dedy-

kowany do spełnienia normy ISO 16063-21 używany jest w wielu laboratoriach na całym świecie. Pomimo, iż spełnia on obowiązujące standardy i normy, zdawanie się na niezawodność sprzętu bez dogłębnej znajomości rzeczony normy ISO oraz norm związanych byłoby daleko idącym zaniedbaniem – generującym wiele błędów. Z tego względu, komputeryzacja wielu dziedzin życia nie zwalnia nas z obowiązku wiedzy na temat podstawowych praw fizyki oraz przestrzegania ustalonych norm i standardów.

BIBLIOGRAFIA

1. ISO 16063-21: Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer
2. International Organization for Standardization dostępny: iso.org
3. Locke J., Wymagania ogólne dotyczące przetwarzania danych w wysoce skomputeryzowanych laboratoriach, w: Materiałach konferencji ILAC'92, Ottawa 1992, Biuletyn Informacyjny POL-LAB, nr 1, 56 (1993)
4. The Modal Shop, Inc. dostępny: modalshop.com
5. Model 9155 Accekerometer Calibration Workstation, Software Manual, The Modal Shop, INC., 2013
6. Polskie Centrum Akredytacji dostępny: pca.gov.pl
7. Piotrowski J. Kostyrko K., Wzorcowanie aparatury pomiarowej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012
8. Polskie Centrum Akredytacyjne, Polityka dotycząca zapewnienia spójności pomiarowej, DA-06, Wydanie 4, Warszawa 2011
9. Valdman Ch. S., ISO 16063; A comprehensive set of vibration and shock calibration standards, XVIII IMEKO WORLD CONGRESS, Rio de Janeiro 2006



Rys. 2. Schemat pętli kontrolnej drgań, gdzie: REF – czujnik referencyjny, SUT (standard under test) – czujnik testowany, DAS (data acquisition system) – system akwizycji danych, DFT (discrete Fourier transform) – dyskretna transformata Fouriera, THD (total harmonic distortion) – współczynnik zawartości harmonicznnych, RMS (root mean square) – wartość skuteczna, V (voltage output) – napięcie wyjściowe [5, s.49]

**CALIBRATION OF VIBRATION
TRANSDUCERS ACCORDING TO
ISO 16063-21: METHODS FOR THE
CALIBRATION OF VIBRATION AND
SHOCK TRANSDUCERS – PART 21:
VIBRATION CALIBRATION BY
COMPARISON TO A REFERENCE
TRANSDUCER**

Abstract

In the paper the authors give a review of ISO 16063-21: Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer. The standard's basic requirements are discussed, which must be met to calibrate transducers. The way the ISO standards are applied is presented using the example of equipment The Modal Shop, INC – Model 9155. In addition, presents the significance of standardizing systems.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Krzysztof Stypuła** – Politechnika Krakowska,
Wydział Inżynierii Łądowej

mgr inż. **Barbara Kożuch** – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Łądowej