

## **SPRAWDZANIE I WERYFIKACJA DEFEKTOSKOPÓW ULTRADŹWIĘKOWYCH PHASED ARRAY**

Tomasz KATZ  
IPPT PAN, Warszawa  
tkatz@ippt.pan.pl

### **1. WSTĘP**

Szeroko pojęty system zapewnienia jakości badań nieniszczących prowadzonych przez specjalistyczne firmy i laboratoria w ograniczonym zakresie rozumiany jest jako nadzór nad aparaturą badawczą. W przypadku badań ultradźwiękowych nadzór sprowadza się do sprawdzania i weryfikacji parametrów defektoskopów ultradźwiękowych, głowic, kompletnej aparatury oraz wzorców i próbek odniesienia. Nowe elementy wyposażenia ultradźwiękowego powinny posiadać certyfikaty wystawiane przez producentów potwierdzające zgodność z odpowiednimi normami w ramach danego typu aparatu ultradźwiękowego. W przypadku wieloprzetwornikowych defektoskopów ultradźwiękowych działających w technice badania phased array jest to nowa norma opublikowana w 2015 roku PN-EN ISO 18563-1 [1], zaś w przypadku wieloprzetwornikowych głowic ultradźwiękowych phased array norma PN-EN ISO 18563-2 [2]. Jednak nadzór nad aparaturą obejmuje również kontrole elementów wyposażenia badawczego będących w eksploatacji. Do rutynowych obowiązków operatorów badań ultradźwiękowych należy np. sprawdzanie kompletnej aparatury ultradźwiękowej w układzie defektoskop, kabel połączeniowy, głowica. Sprawdzenia tego dokonuje się w ramach uproszczonej kontroli operatorskiej według PN-EN ISO 18563-3 [3].

Norma PN-EN ISO 18563-1:2015 [1] wymaga, aby wieloprzetwornikowe defektoskopy ultradźwiękowe poddawane były kompleksowej kontroli okresowej dokonywanej raz na 12 miesięcy lub po naprawie aparatu ultradźwiękowego. W tym celu norma definiuje specjalną kategorię testów określaną jako testy grupy 2. Testy te mogą być wykonywane zarówno przez serwis producenta, specjalistyczną firmę zewnętrzną jak też przez samego użytkownika. Należy podkreślić, że kontrola okresowa defektoskopu według PN-EN ISO 18563-1 ma ściśle określony interwał czasowy, precyzyjnie określony zestaw parametrów podlegających kontroli, a także sposób ich pomiaru oraz kryteria akceptacji.

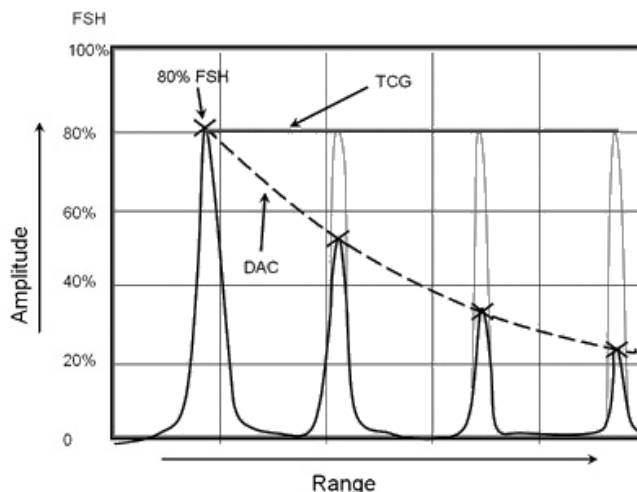
Należy zauważyć, że analogiczna norma dotycząca głowic ultradźwiękowych, PN-EN ISO 18563-2 [2] nie wprowadza obligatoryjnego nakazu kontroli okresowej głowic, a jedynie stwierdza, że kontrola taka może zostać wprowadzona na mocy uzgodnień między zainteresowanymi stronami. Doprowadza to do sytuacji, że firmy wykonujące badania nieniszczące metodą ultradźwiękową

posiadają świadectwa zgodności na głowice ultradźwiękowe wystawione wiele lat wcześniej, które nie odzwierciedlają aktualnego stanu głowic.

Celem niniejszego referatu jest przedstawienie najważniejszych wymagań, zmian w odniesieniu do normy PN-EN 12668-1 [4], która dotyczy klasycznych aparatów ultradźwiękowych oraz przedyskutowanie problemów związanych z okresową kontrolą aparatów ultradźwiękowych zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 18563-1:2015.

## 2. PRZEGLĄD PARAMETRÓW APARATU ULTRADŹWIĘKOWEGO

Pełne zestawienie parametrów charakteryzujących aparat ultradźwiękowy przedstawiono w punkcie 6-tym normy [1]. Należy zauważyć, że wykaz cech aparatu ultradźwiękowego składający się z 85 punktów takich jak: parametry fizyczne urządzenia, parametry wyświetlacza, wejścia-wyjścia sygnałowe, charakterystyki nadajnika, charakterystyki odbiornika, parametry akwizycji danych, parametry bramek pomiarowych i funkcje obróbki sygnału powinny być załączone do specyfikacji technicznej aparatu ultradźwiękowego. Norma dla aparatów phased array w zestawieniu z normą dotyczącą klasycznych aparatów ultradźwiękowych [4] dodatkowo rozróżnia, które parametry sprzętu mają zostać podane jako informacja dla użytkownika, a które wymagają szczegółowych pomiarów i podania wartości realnie zmierzonych dla danego typu aparatu ultradźwiękowego. Część parametrów ma charakter czysto informacyjny, jak np. waga, wymiary czy dostępne wejścia – wyjścia sygnałowe. Do parametrów, które określają sprawność techniczną defektoskopu oraz mają istotny wpływ na przebieg badań należą: częstotliwość powtarzania impulsu, zakres napięcia zasilania, stabilność amplitudy impulsu oraz podstawy czasu w funkcji napięcia zasilania, szczegółowe parametry nadajnika (kształt impulsu, napięcie impulsu  $V_{pp}$ , czas narastania, czas trwania), szczegółowe parametry odbiornika (charakterystyka liniowości pionowej, częstotliwość środkowa oraz szerokość pasma dla poszczególnych filtrów, poziom szumów wyrażony w  $nV/\sqrt{Hz}$ ) oraz dokładność tłumika defektoskopu. Dodatkowo z racji rozwoju elektroniki niezbędnej na potrzeby pracy aparatu w technice phased array norma w punkcie 6-tym została uściślona o dodatkowe parametry w specyfikacji urządzenia takiej jak: najwyższa częstotliwość próbkowania, maksymalna liczba praw opóźnień, maksymalne czasy praw opóźnień, maksymalna wielkość wirtualnej apertury. Jedną z równie ważnych zmian jest podanie w specyfikacji danych dotyczących krzywej TCG, która to zastępuje krzywą DAC w normie dotyczącej aparatów Phased Array. Poniższy rys.1 ilustruje podstawową różnicę między krzywą TCG a DAC.



Rys.1. Zestawienie sposobu generowania krzywej DAC i TCG. Źródło: <http://www.bindt.org/what-is-ndt/index-of-acronyms/t/tcg/>

Zmiana rodzaju krzywej w specyfikacji predysponuje technikę PA do pomiarów w trybie automatycznym lub półautomatycznym, gdzie taki system rejestruje przecięcie bramki pomiarowej na zasadzie akceptowalne/odrzucone, gdyż wysokość amplitudy pochodzącej od reflektora tej samej wielkości nie zmienia się w zależności od odległości co pokazuje powyższy rys.1 w przeciwieństwie do krzywej DAC, która wykreśla charakterystyczne punkty między wierzchołkami amplitud w zależności od odległości reflektora.

Podsumowując obszernie zestawienie parametrów technicznych aparatu ultradźwiękowego pracującego w technice phased array wymienionych w normie [1] pkt. 6 zauważalne jest nowe podejście do zagadnienia kontroli aparatu poprzez uwzględnienie kluczowych cech działania nowoczesnego cyfrowego defektoskopu ultradźwiękowego.

### 3. TESTY GRUPY 2

Kontrola aparatu ultradźwiękowego według normy PN-EN ISO 18563-1:2015 wyraźnie określa sposób i zakres sprawdzenia defektoskopu ultradźwiękowego pracującego w technice PA. Podstawą do pomiarów jest Grupa 2, która zakłada testy każdego aparatu ultradźwiękowego okresowo co 12 miesięcy lub po naprawie urządzenia.

Wraz z nowym urządzeniem spełniającym wymogi normy [1] dostajemy świadectwo kontroli oraz raport z testów wystawiony przez producenta urządzenia, tzw. *zero point test*. Raport ten jest pierwszym zapisem parametrów technicznych defektoskopu. Należy mieć na uwadze, że dokument ten jest ważny przez 12 miesięcy od daty kontroli urządzenia, nie zaś od daty dostawy urządzenia do klienta. Po upływie 12 miesięcy, aby uzyskać aktualne świadectwo stanu technicznego defektoskopu należy wykonać szereg pomiarów. Tabela 3 zawarta w normie [1] określa zestaw testów, które należy bezwzględnie wykonać, aby świadectwo wystawione przez jednostkę sprawdzającą było zgodne z przedmiotową normą. W ramach kontroli okresowej każdy defektoskop ultradźwiękowy powinien zostać poddany wymienionym poniżej testom i

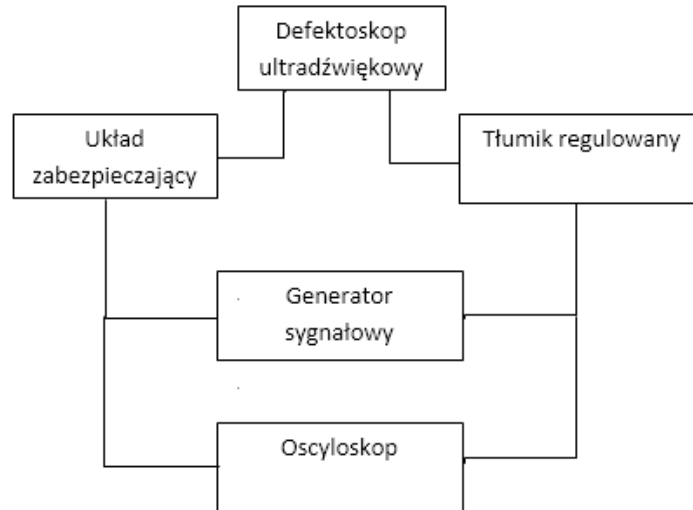
sprawdzeniom. Numery podane w nawiasach odpowiadają konkretnym punktom normy PN-EN ISO 18563-1: 2015:

- Stan i wygląd zewnętrzny (9.2)
- Parametry impulsu nadawczego (9.3.2)
- Liniowość praw opóźnień nadajnika (9.3.3)
- Charakterystyka częstotliwościowa odbiornika (9.4.2)
- Międzykanałowa różnica amplitudy odbiornika (9.4.3)
- Szumy wzmacniacza (9.4.4)
- Liniowość tłumika decybelowego (9.4.5)
- Liniowość zobrazowania pionowego (9.4.6)
- Liniowość praw opóźnień odbiornika (9.4.7)

W porównaniu z normą dotyczącą klasycznych defektoskopów UT liczba punktów nie uległa zmianie. Zasadniczej zmianie uległa natomiast charakterystyka testów. Z listy kontrolnej zostały usunięte punkty dotyczące sprawdzenia takich parametrów jak: pomiar stabilności po czasie nagrzewania, stabilności krótkookresowej, stabilności w funkcji napięcia zasilania oraz liniowość podstawy czasu. Praktyczne pomiary nowoczesnych cyfrowych aparatów UT wykazywały brak problemów z tymi parametrami w urządzeniach długo i intensywnie eksploatowanych. Jednocześnie wycofanie tych parametrów świadczy o dostosowaniu obecnie obowiązującej normy [1] do charakterystyk pracy i funkcji typu self-test w trakcie pracy czy uruchomienia nowoczesnego defektoskopu ultradźwiękowego. Na uwagę zasługuje fakt, że wewnętrzny self-test aparatu nie jest w żadnym razie potwierdzeniem, że dany defektoskop spełnia wymagania normy PN-EN ISO 18563-1:2015 i PN-EN 12668-1:2010. Jedyną formą potwierdzenia zgodności aparatu z wymienioną normą jest przeprowadzenie sprawdzenia defektoskopu zgodnie z punktami normy odpowiadającej danemu typowi urządzenia oraz ??? grupy dla urządzeń będących w eksploatacji.

Norma dla aparatów UT-PA uwzględniając technikę phased array uzupełnia sprawdzenie urządzenia o parametry takie jak pomiar liniowości praw opóźnień nadajnika i odbiornika oraz pomiar międzykanałowej różnicy amplitudy odbiornika. Dodatkowo w ramach testów poszczególnych parametrów defektoskopu oraz wielu kanałów norma rozróżnia, w których testach podlegają realne kanały określane jako apertura oraz tzw. kanały wirtualne / multipleksowane określane jako apertura wirtualna. Wielu producentów defektoskopów UT-PA używa zapisu np. 16/64 lub 16:64 co w praktyce oznacza, iż dany model posiada 16 realnych kanałów nadawczo odbiorczych (apertura) oraz 64 kanały multipleksowane (apertura wirtualna). Wprost można to zrozumieć, że w ramach 64 kanałów maksymalnie na raz możemy nadawać i odbierać falę ultradźwiękową 16 kanałami defektoskopu, które naturalnie tworzą aperturę.

Poszczególne testy aparatury ultradźwiękowej należy przeprowadzać zgodnie z określonym schematem połączenia defektoskopu z urządzeniami pomiarowymi przy ściśle określonych ustawieniach defektoskopu. Poniższy schemat (rys.2) przedstawia sposób połączenia elementów aparatury do głównych testów defektoskopu ultradźwiękowego wymienionych powyżej.



Rys.2. Schemat połączeniowy układu do testowania defektoskopu ultradźwiękowego phased array.

Lista kontrolna testów aparatu rozpoczyna się od sprawdzenia stanu zewnętrznego urządzenia tak, aby można było wykluczyć niesprawność na skutek upadku lub zalania aparatu ultradźwiękowego. W dalszej kolejności wykonywane są testy nadajnika oraz odbiornika aparatu ultradźwiękowego.

Kontrola nadajnika polega na połączeniu wyjścia nadajnika z wejściem oscyloskopu cyfrowego przy zastosowaniu tłumika oraz bezreakcyjnego opornika  $50\Omega$ . Następnie należy wykonać pomiary parametrów impulsu nadawczego, tj. jego napięcia  $V_{50}$  [V], czasu narastania  $t_r$  [ns], czasu trwania  $t_d$  [ns]. W odniesieniu do klasycznego aparatu pomiaru dokonujemy na pośrednim ustawieniu napięcia nadajnika, długości impulsu oraz częstotliwości powtarzania. Dla impulsów prostokątnych zrezygnowano z pomiaru napięcia rewerberacji  $V_r$  [V]. Z racji techniki PA ograniczono, iż pomiar napięcia  $V_{50}$  wykonuje się dla całej apertury wirtualnej (np. 64 kanały), a pomiary czasu narastania  $t_r$  i czasu trwania  $t_d$  dla rzeczywistych kanałów (np.16).

Kryteria akceptacji:

- napięcie impulsu nadawczego -  $V_{50}$  w granicach  $\pm 10\%$  napięcia nominalnego,
- czas narastania -  $t_r$  mniejszy od maksymalnej wartości nominalnej,
- czas trwania -  $t_d$  w granicach  $\pm 10\%$  wartości nominalnej dla impulsu prostokątnego lub nie więcej niż 1,5 wartości nominalnej dla impulsu szpilkowego i różnicą czasu między kanałami nie większa niż  $\pm 20\%$ .

Weryfikacja czasu narastania impulsu jest ważna, ponieważ parametr ten ma istotny wpływ na pobudzenie głowic wysokich częstotliwości. Przetworniki piezoelektryczne takich głowic wymagają szybkiego czasu narastania impulsu w celu wzbudzenia w nich drgań o krótkim czasie trwania. Czas trwania impulsu pobudzającego przetwornik wpływa z kolei na osiową zdolność rozdzielczą sygnału emitowanego przez głowicę. Generowanie zbyt długiego impulsu powoduje rozmycie echa i utratę rozdzielczości osiowej układu, co przekłada się na obniżoną dokładność określania położenia wad lub innych reflektorów odbijających fale ultradźwiękowe.

Drugim testem kontrolującym pracę nadajnika defektoskopu jest pomiar liniowości praw opóźnień co jest kluczowe dla techniki PA i umożliwia sterowanie czołem oraz samą wiązką fali

ultradźwiękowej. Używając konfiguracji połączeniowej dla pomiarów parametrów nadajnika podczas badania sprawdzamy czasy opóźnień  $t_{dif}$  dla każdego rzeczywistego kanału, gdzie każdy kanał sprawdzamy od minimalnego do maksymalnego czasu opóźnienia z 10% krokiem pomiarowym. Pomiar parametru  $t_{dif}$  wykonujemy wg. wzoru:

$$t_{dif} = t_{pi} - t_{p0} - t_{target i}$$

gdzie:

$t_{p0}$  – czas referencyjny przy ustawieniu czasu prawa opóźnień na wartość zero,

$t_{target i}$  – czas zadany przez defektoskop,

$t_{pi}$  – czas zmierzony cyfrowym oscyloskopem.

Kryteria akceptacji:

- czas prawa opóźnienia impulsu nadawczego -  $t_{dif}$  nie większy niż 1% wartości maksymalnej opóźnienia określonej w specyfikacji urządzenia.

Powyższy test wykonujemy na wszystkich rzeczywistych kanałach defektoskopu ultradźwiękowego (np. 16 kanałów).

Testy odbiornika aparatu sprawdzają charakterystykę częstotliwościową, międzykanałową różnicę amplitudy, szumy wzmacniacza, liniowość tłumika decybelowego, liniowość zobrazowania pionowego oraz liniowość praw opóźnień.

Pomiar charakterystyk częstotliwościowych zaczynamy od wyłączenia nadajnika w badanym kanale i zadania napięcia  $V_{pp}=100mV$  w funkcji sinus z generatora sygnałowego na wejście defektoskopu. Wzmocnienie ustawiamy tak, aby odbierana wartość maksymalna sygnału odpowiadała 80% FSH. Następnie dla każdego analogowego filtra/pasma aparatu szukamy częstotliwości o maksymalnej amplitudzie  $f_{max}$  oraz krańców pasma dla 3dB spadku amplitudy, kolejno  $f_u$  i  $f_l$ . Zarejestrowane wartości wyżej opisanych wskazań posłużą do wyliczenia częstotliwości środkowej  $f_0$  i szerokości pasma  $\Delta f$  wg. wzoru:

$$f_0 = \frac{f_u + f_l}{2}$$

$$\Delta f = f_u - f_l$$

gdzie:

$f_0$  – częstotliwość środkowa pasma,

$\Delta f$  – szerokość pasma dla spadku -3dB,

$f_u$  – częstotliwość górna dla spadku -3dB,

$f_l$  – częstotliwość dolna dla spadku -3dB.

Kryteria akceptacji:

- częstotliwość środkowa  $f_0$  - w granicach  $\pm 10\%$  wartości nominalnej,
- częstotliwość górna  $f_u$  i dolna  $f_l$  - w granicach  $\pm 10\%$  wartości nominalnej.

Powyższy test wykonujemy na wszystkich rzeczywistych kanałach defektoskopu ultradźwiękowego. Ważną uwagą do powyższego sprawdzenia jest, że opisana w normie [1] procedura sprawdzenia pasm dotyczy tylko filtrów analogowych. W nowoczesnych instrumentach PA stosowane cyfrowe filtry/pasma uważa się za stabilne, gdyż są one realizowane przez oprogramowanie urządzenia i przez to nie wymaga się ich sprawdzenia. Jednakże z racji wymagań kolejnych testów zaleca się sprawdzenie pasma dla ustawienia szerokopasmowego w celu eliminacji działania filtrów i oceny pracy charakterystyki częstotliwościowej samego fizycznego odbiornika defektoskopu.

Nowym sprawdzeniem w ramach kontroli aparatu UT-PA jest kontrola wzmocnienia międzykanałowego. Pomiar zaczynamy od ustawienia nadawania tylko na jednym kanale defektoskopu. Sygnał ten posłuży jako wyzwalacz dla generatora sygnałowego. Wzmocnienie ustawiamy tak, aby odbierana wartość maksymalna sygnału odpowiadała 80% FSH. Sygnał w funkcji sinus z generatora sygnałowego podajemy na kolejne wszystkie wejścia w ramach apertury wirtualnej (np. 64 kanały). Następnie rejestrujemy poziom amplitudy na wszystkich wymienionych wyżej kanałach. Z zebranych danych wyszukujemy wartość maksymalną [ $A_{max}$ ] oraz minimalną [ $A_{min}$ ] i wyliczamy podstawiając do poniższego wzoru różnicę wzmocnienia.

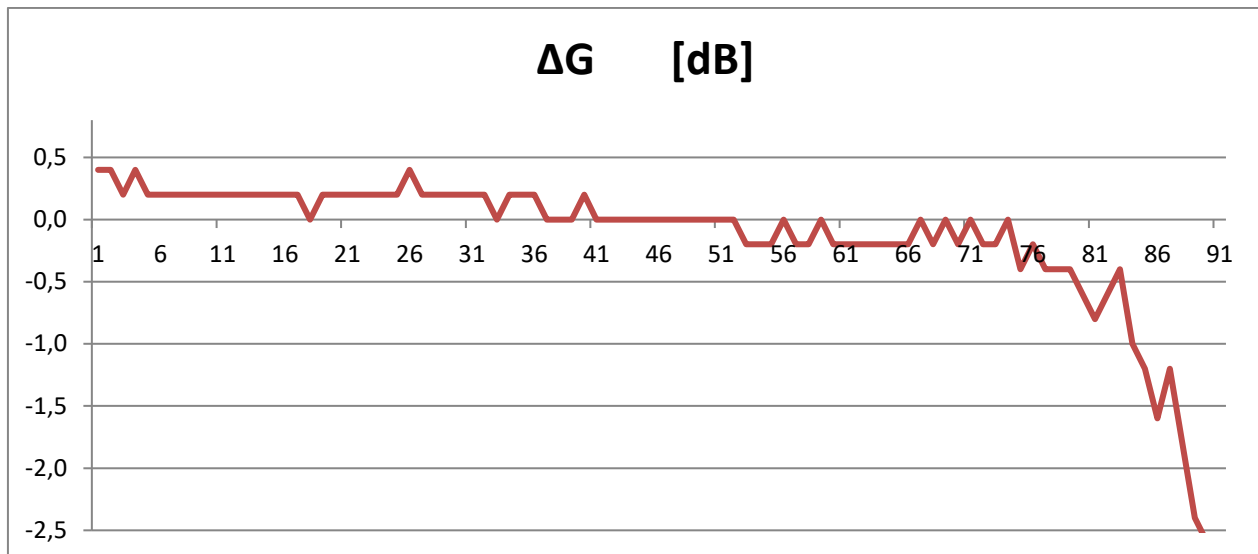
$$\Delta G = 20 \lg \left( \frac{A_{max}}{A_{min}} \right)$$

Kryteria akceptacji:

- wartość wzmocnienia między kanałami  $\Delta G$  powinna wynosić poniżej 3 dB.

Przechodząc przez kolejne etapy testów odbiornika aparatu phased array widzimy, iż korekcie poddane zostało sprawdzenie liniowości tłumika decybelowego. Kontrola tłumika aparatu jest jednym z kluczowych aspektów sprawdzenia, gdyż wprost wpływa na nastawy czułości badania, szczególnie jak pokazuje praktyka, w zakresach wzmocnień powyżej 70 dB. Norma [1] modyfikuje test na zasadzie ograniczenia pasma pracy odbiornika do jednego i co ważne najszerszego pasma, o ile jest ono realizowane w sposób cyfrowy. W przypadku filtrów analogowych kontrola dotyczy wszystkich filtrów w ustawieniach aparatu, tak jak jest to realizowane w normie PN-EN 12668-1. Z jednej strony w wariacie cyfrowych filtrów redukcja opisana powyżej wskazuje wykonanie pomiarów tylko na jednym filtrze aparatu, z drugiej rozszerza badanie o sprawdzenie tłumika na rzeczywistych kanałach aparatu (np. 16). Praktyczne pomiary wykazały, iż w aparaturze wielokanałowej ważniejsza jest kontrola poszczególnych kanałów na których może wystąpić pogorszenie pracy tłumika, niż sprawdzanie każdego pasma w ramach jednego kanału.

Rozszerzone zostały kryteria akceptacji o warunek, który ogranicza skumulowany błąd tłumika decybelowego defektoskopu ultradźwiękowego do  $\pm 0,5$  dB w każdym przedziale o rozpiętości 1 dB oraz zmodyfikowany został zapis, że skumulowany błąd tłumika decybelowego defektoskopu ultradźwiękowego nie powinien przekraczać  $\pm 2$  dB w przedziale określonym w specyfikacji technicznej producenta.



Wyk.1. Przebieg błędu tłumika decybelowego aparatu ultradźwiękowego.

Powyższy wykres 1 przedstawia przykładowy zapis pomiaru liniowości tłumika decybelowego aparatu ultradźwiękowego. Widoczna linia reprezentuje odchylenie sygnału od poziomu referencyjnego przyjętego na poziomie 0,0 dB w środkowym zakresie wzmocnienia aparatu UT. Analiza powyższego sygnału pod kątem kryteriów akceptacji wskazała dopuszczalny poziom wzmocnienia defektoskopu ultradźwiękowego na 84dB. Jest to wartość wzmocnienia, w której tłumik defektoskopu zachowuje liniowość w ramach warunku  $\pm 1$  dB w każdym przedziale o rozpiętości 20 dB. Wynik ten jednoznacznie przedstawia ważność pomiaru wzmocnienia aparatu poprzez określenie maksymalnego użytecznego wzmocnienia dla którego defektoskop zachowuje dopuszczalną tolerancję i precyzję pomiaru amplitudy sygnału ultradźwiękowego na zobrażowaniu typu A-skan.

#### 4. APARATURA POMIAROWA

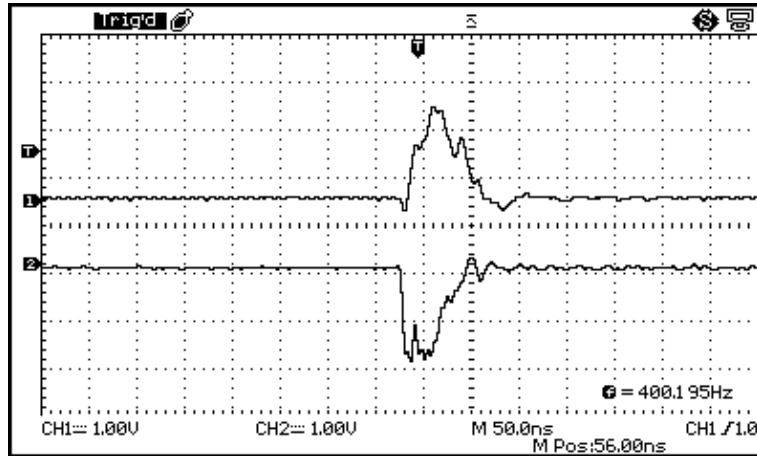
Norma dotycząca charakteryzacji i weryfikacji aparatury ultradźwiękowej wyszczególnia listę aparatury kontrolno-pomiarowej, która jest niezbędna do sprawdzenia defektoskopu ultradźwiękowego, wg testów grupy 2. Są to:

- oscyloskop,
- $50 \Omega \pm 0,5 \%$  opornik bezreakcyjny,
- $50 \Omega$  kalibrowany tłumik o kroku 1 dB i zakresie tłumienia 0-100 dB ze skumulowanym błędem poniżej 0,3 dB na każde 10 dB w zakresie częstotliwości do 15 MHz,
- generator sygnałowy z zewnętrznym wyzwaniem i bramką do wyzwiania wielu cykli sinusoidalnych o częstotliwościach w zakresie badanej aparatury.

Analizując listę niezbędnej aparatury można stwierdzić, że w ofercie producentów specjalistycznej aparatury pomiarowej znajdziemy oscyloskop, generator czy też opornik. Jednak dużym problemem, a wręcz niemożliwością może okazać się znalezienie  $50 \Omega$ , regulowanego tłumika o zakresie 0-100 dB i błędzie poniżej 0,3 dB na każde 10 dB tłumienia. Wiele dostępnych tłumików pracuje w zakresie 0-60 dB, co powoduje niezgodność z wymaganiami normy. Tłumiki te często nie spełniają warunku rezystancji we/wyj, ponieważ są przystosowane do pracy w układach  $75 \Omega$ .

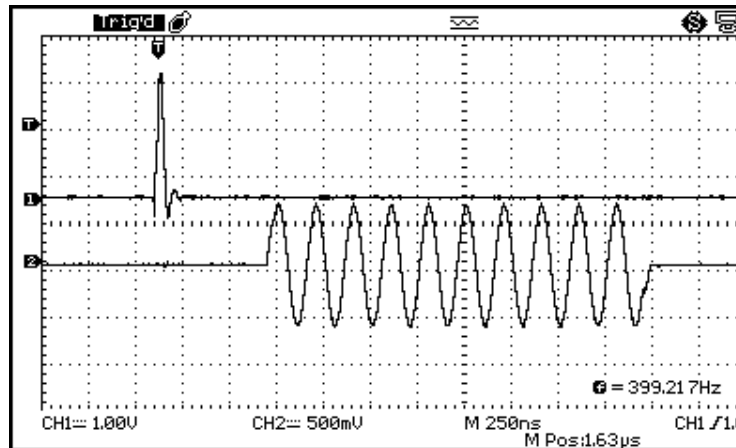


Chcąc wykonać testy zgodnie z normą [1] i schematem połączeniowym przedstawionym na Rys.2 trzeba uwzględnić polaryzację i amplitudę impulsu z nadajnika defektoskopu, która nie jest dopasowana do standardu sygnału TTL wymaganego na wejściach wyzwalających generatora sygnałowego. Należy mieć na uwadze, że defektoskopy ultradźwiękowe generują impuls nadawczy spolaryzowany ujemnie co powoduje problem z odbiorem sygnału przez generator nawet po zastosowaniu tłumika decybelowego. Niezbędne jest więc urządzenie dopasowujące sygnał nadajnika defektoskopu do wejścia TTL generatora, które odwróci polaryzację sygnału z ujemnej na dodatnią, tak jak zobrazowano to na Rys. 3. Drugą cechą impulsu nadawczego defektoskopu, która stanowi problem dla urządzeń pomiarowych jest duża wartość napięcia generowanego przez układ nadajnika defektoskopu (rzędu 400 V i więcej). Napięcie o takiej wartości może uszkodzić wejście oscyloskopu lub wejście wyzwalające generatora sygnałowego, a nawet sam układ odwracający polaryzację sygnału. Z powodu różnic w zakresach napięć nadajnika w różnych modelach defektoskopów należy posiadać tłumik regulowany dopasowany do różnych napięć i rezystancji nadajników.



Rys.3. Zobrazowanie przebiegów impulsu nadawczego (dolny) oraz impulsu odwróconego (górny) podawanego na wejście wyzwalające generatora sygnałowego.

Zobrazowanie ekranu oscyloskopu pokazane na Rys. 3 przedstawia na dolnym przebiegu impuls z nadajnika defektoskopu ultradźwiękowego. Impuls o polaryzacji ujemnej, nie jest właściwy dla modułu wyzwalającego generatora sygnałowego. Górny przebieg przedstawia impuls dopasowany do standardu TTL zarówno pod względem polaryzacji jak i amplitudy napięcia.



Rys 4. Przebiegi typowych sygnałów z nadajnika defektoskopu (górnny) oraz sygnału testowego z generatora sygnałowego (dolny).

Na Rys. 4 przedstawiono przebiegi dopasowanego sygnału z nadajnika aparatu oraz testowego sygnału sinusoidalnego wygenerowanego z generatora sygnałowego. Jest to typowy sygnał testowy do sprawdzania charakterystyk częstotliwościowych odbiornika oraz szumów wzmacniacza. W celu zmniejszenia wpływu stanów nieustalonych na wyniki pomiarów norma zaleca stosowanie impulsu sinusoidalnego o długości 10 cykli.

## PODSUMOWANIE

Zapewnienie odpowiedniego nadzoru nad stanem technicznym stosowanych aparatów ultradźwiękowych jest bardzo ważnym czynnikiem zapewnienia jakości badań ultradźwiękowych. Z przedstawionej analizy problematyki okresowego sprawdzania i weryfikacji defektoskopów ultradźwiękowych wynika, że nowe zapisy normy PN-EN ISO 18563-1:2015 dotyczącej aparatury pracującej w technice phased array nie tylko sprawdzają charakterystyczne punkty ważne z punktu widzenia zapewnienia jakości badania, ale również sama metodyka pomiaru uległa zmianie i została przystosowana do kontroli nowoczesnych aparatów cyfrowych. W celu utrzymania wysokiej jakości pomiarów należy, w pierwszej kolejności, dostosować się do jasno określonych wymagań normy dla techniki UT-PA. Ponieważ sprawdzanie aparatu ultradźwiękowego wymaga dobrego zrozumienia zasad jego działania oraz biegłości w jego obsłudze wskazane jest też, aby personel dokonujący sprawdzenia defektoskopów posiadał kwalifikacje w metodzie ultradźwiękowej. Bardzo ważne jest również to, aby wystawiane świadectwa sprawdzenia wyszczególniały typy oraz numery seryjne zastosowanej aparatury kontrolno-pomiarowej oraz załączniki ze szczegółowymi wynikami wszystkich testów grupy 2. Wyniki te powinny umożliwiać jednoznaczne określenie czy sprawdzany defektoskop spełnia wymagania normy [1]. Na Rys. 5 pokazano przykładowy wzór świadectwa sprawdzenia defektoskopu, w którym wyszczególniono i potwierdzono wykonanie wszystkich testów grupy 2 normy PN-EN ISO 18563-1:2015. Proponowane świadectwo potwierdza zgodność defektoskopu z wersją normy oraz grupą testów jakiej podlega testowany sprzęt. Do świadectwa powinien zostać załączony raport ze szczegółowymi zapisami wyników pomiarów.

Nazwa firmy wykonującej sprawdzenie

# ŚWIADECTWO

## SPRAWDZENIA DEFEKTOSKOPU ULTRADŹWIĘKOWEGO

Nr:

Niniejszym zaświadcza się, że poniżej opisany defektoskop ultradźwiękowy został przetestowany i zweryfikowany zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO18563-1:2015 w zakresie testów Grupy 2 (badania okresowe co 12 m-cy oraz badania po naprawach).

Marka i model defektoskopu :  
Numer seryjny S/N :  
Właściciel :

### APARATURA POMIAROWA:

Oscyloskop cyfrowy :  
Generator sygnałowy :  
Tłumik kalibrowany 100dB :  
Opornik bezreakcyjny :

### WARUNKI ŚRODOWISKOWE:

Temperatura :  
Wilgotność :

### WYNIKI KONTROLI:

### Akceptacja/Nie zgodność

1. Stan i wygląd zewnętrzny (9.2)	:
2. Parametry impulsu nadawczego (9.3.2)	:
3. Liniowość praw opóźnień nadajnika (9.3.3)	:
4. Charakterystyka częstotliwościowa odbiornika (9.4.2)	:
5. Międzykanałowa różnica amplitudy odbiornika (9.4.3)	:
6. Szumy wzmacniacza (9.4.4)	:
7. Liniowość tłumika decybelowego (9.4.5)	:
8. Liniowość zobrazowania pionowego (9.4.6)	:
9. Liniowość praw opóźnień odbiornika (9.4.7)	:

**OKRES WAŻNOŚCI ŚWIADECTWA**

: Od dnia do dnia

*Rys.5. Proponowany wzór świadectwa sprawdzenia defektoskopu ultradźwiękowego Phased Array.*

## LITERATURA

- [1] PN-EN ISO 18563-1:2015-10 Badania nieniszczące - Charakteryzowanie i weryfikacja wieloprzetwornikowej aparatury ultradźwiękowej - Część 1: Aparatura.
- [2] PN-EN ISO 18563-2:2017-11 Badania nieniszczące - Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej z głowicami wieloprzetwornikowymi - Część 2: Głowice.
- [3] PN-EN ISO 18563-3:2016-02 Badania nieniszczące - Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej z głowicami wieloprzetwornikowymi - Część 3: Aparatura kompletna.
- [4] PN-EN 12668-1:2010 Badania nieniszczące - Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej - Część 1: Aparatura.
- [5] BUECHLER J., SCHLENGERMANN U., The implementation of the New Standard EN ISO 18563 for Ultrasonic Phased-Array Systems at the Manufacturer, WCNDT 2016.