

Adam Kondej*, Artur Szczepański
Instytut Mechaniki Precyzyjnej, Warszawa

Zminiaturyzowane urządzenie do badań nieniszczących metodą prądów wirowych wykorzystujące pomiar amplitudowo-częstotliwościowy

Miniaturized device for eddy current non-destructive testing using the amplitude-frequency measurement

ABSTRACT

The paper presents a device working on the basis of a generator with a freely oscillating resonant circuit. The device records changes in voltage amplitude and frequency of the eddy current signal. Simultaneous registration of two parameters with different sensitivity for selected factors allows for a more accurate analysis of the condition of the tested material. The device can work in manual measurement mode or in automatic mode. It is characterized by small size and weight. It can be used in defectoscopy, structure and thickness measurements.

Keywords: eddy current; amplitude-frequency measurement; Wirotest M2

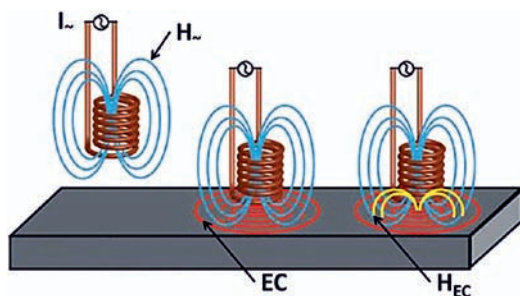
STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono urządzenie pracujące w oparciu o generator ze swobodnie oscylującym obwodem rezonansowym. Urządzenie rejestruje zmiany amplitudy napięcia oraz częstotliwości sygnału prądowirowego. Jednoczesna rejestracja dwóch parametrów o różnej czułości na wybrane czynniki pozwala na dokładniejszą analizę stanu badanego materiału. Urządzenie może pracować w trybie ręcznego pomiaru lub w trybie automatycznym. Charakteryzuje się małym rozmiarem i wagą. Może być wykorzystywane w defektoskopii, strukturokopii oraz pomiarach grubości.

Słowa kluczowe: prądy wirowe; pomiar amplitudowo-częstotliwościowy; Wirotest M2

1. Wstęp

Podstawowym zjawiskiem wykorzystywanym w badaniach nieniszczących metodą prądów wirowych (ET - Electromagnetic Testing lub ECT - Eddy Current Testing) jest indukcja elektromagnetyczna, która polega na generowaniu prądu w materiale przewodzącym, w wyniku działania na niego zmiennego pola magnetycznego (Rys. 1). Zmienne pole magnetyczne występuje wskutek zasilania cewki prądem zmiennym z generatora [1-3].



Rys. 1. Idea indukowania prądów wirowych: prąd zmienny I_{\sim} zasilający cewkę, zmienne pole magnetyczne cewki H_{\sim} , zmienne prądy wirowe EC, zmienne pole magnetyczne H_{EC} generowane przez prądy wirowe [4].

Fig. 1. The idea of inducing eddy currents: alternating current I_{\sim} supplying the coil, alternating magnetic field of the coil H_{\sim} , alternating eddy currents EC, alternating magnetic field H_{EC} generated by eddy currents [4].

*Autor korespondencyjny. E-mail: adam.kondej@imp.edu.pl

Aparatura pomiarowa do badań ET jest budowana w oparciu o generatory o ustalonej częstotliwości lub generatory ze swobodnie oscylującym obwodem rezonansowym (ze zmienną częstotliwością).

Większość obecnie stosowanych defektoskopów prądowirowych pracuje w oparciu o generator o ustalonej częstotliwości, gdzie analizowane są składowe (część rzeczywista i urojona) napięcia lub impedancji albo amplituda i kąt przesunięcia fazowego sygnału. Prostsze urządzenia pomiarowe wykorzystują pomiar jednoparametrowy, wówczas analizowana jest amplituda sygnału [1].

2. Zminiaturyzowane urządzenie wykorzystujące pomiar amplitudowo-częstotliwościowy Wirotest M2

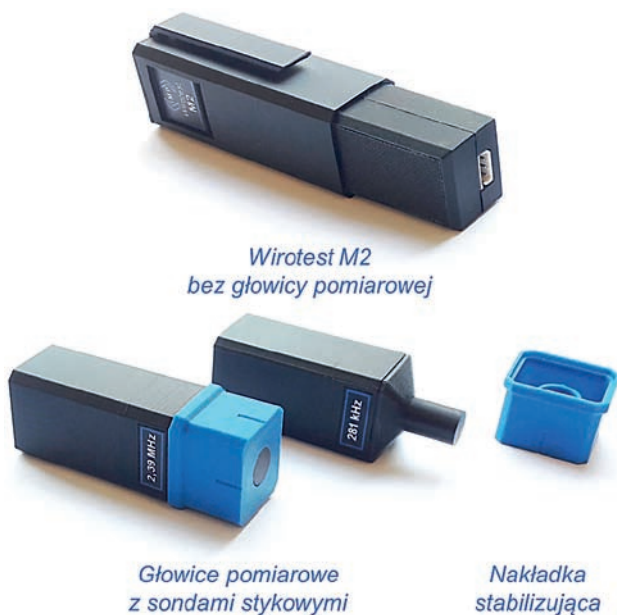
W Instytucie Mechaniki Precyzyjnej (IMP) opracowano i wykonano zminiaturyzowane urządzenie kontrolno-pomiarowe do badań nieniszczących metodą prądów wirowych wykorzystujące pomiar amplitudowo-częstotliwościowy – Wirotest M2. Zastosowana technika pomiaru rozszerza możliwości urządzeń pomiarowych IMP, pracujących w oparciu o generator ze swobodnie oscylującym obwodem rezonansowym, o pomiar dwuparametrowy.

Zbliżenie sondy pomiarowej do powierzchni materiału badanego powoduje zmianę wartości amplitudy napięcia i częstotliwości sygnału prądowirowego. Pomiar amplitudowo-częstotliwościowy wymaga w pierwszej kolejności ustalenia wartości amplitudy napięcia i częstotliwości

w miejscu wolnym od wad i niezgodności. Te wartości przyjmuje się jako wartości odniesienia, z którymi porównuje się wskazania otrzymane podczas dalszych badań. Zmiana wartości któregoś z parametrów sygnalizuje obecność wady lub niezgodności.



Rys. 2. Wirotest M2 z głowicą pomiarową – pomiar w trybie ręcznym.
Fig. 2. The Wirotest M2 with measurement head – measurement in manual mode.



Rys. 3. Wirotest M2 oraz głowice pomiarowe z sondami stykowymi.
Fig. 3. The Wirotest M2 and measurement heads with surface probes.

Wirotest M2 jest zminiaturyzowanym urządzeniem kontrolno-pomiarowym, przeznaczonym do pracy w trybie ręcznym (np. jako przenośny defektoskop) oraz automatycznym (np. jako jeden z czujników na automatycznym stanowisku pomiarowym). Charakteryzuje się małym rozmiarem (wymiary zewnętrzne razem z głowicą pomiarową z Rys. 2: 23,4 x 26,4 x 143,0 mm) oraz masą (44 g razem z głowicą). Po podłączeniu głowicy pomiarowej (Rys. 3)

urządzenie pracuje z zadaną częstotliwością oraz czułością. Zmiana tych parametrów wymaga zmiany głowicy, która jest opracowywana i wykonywana pod ściśle określony cel badania ET. Wirotest M2 pracuje z sondami stykowymi oraz przelotowymi o częstotliwości pracy od kilku kHz do kilku MHz. Źródłem zasilania Wirotestu M2 oraz jednostką zbierającą, przetwarzającą i archiwizującą dane pomiarowe jest urządzenie zewnętrzne (PC, smartphone lub tablet). Funkcje związane z obrazowaniem i analizą rejestrowanego sygnału realizowane są przez dedykowaną aplikację. Głównym obrazowaniem wskazań urządzenia jest przebieg amplitudy i częstotliwości w czasie (Rys. 4). Obrazowaniami pomocniczymi są odseparowane przebiegi tych parametrów w czasie względem punktu pomiarowego (Rys. 6). Wybrane dane techniczne urządzenia zamieszczono w Tab. 1.

Tab. 1. Wirotestu M2 - dane i parametry pracy
Tab. 1. The Wirotest M2 - data and work parameters

Komunikacja	port USB typu B
Szybkość transmisji	57600 bit/s
Częstotliwość próbkowania	5÷4500 pomiarów/s
Napięcie zasilania	5V
Wymiary zewnętrzne bez głowicy	23,4 x 26,4 x 106,4 mm
Waga bez głowicy	33,6 g
Urządzenia współpracujące	PC, smartphone, tablet

3. Pomiar amplitudowo-częstotliwościowy w badaniach ET

Dzięki jednoczesnej rejestracji dwóch parametrów o różnej czułości na wybrane czynniki analiza amplitudowo-częstotliwościowa pozwala na dokładniejszą ocenę stanu badanego materiału, w porównaniu do analizy jednoparametrowej (amplitudowej).

Na przykład w badaniach ET głowicą pomiarową o częstotliwości pracy 278 kHz (w powietrzu) analiza amplitudowo-częstotliwościowa pozwala na wykrycie czterech nacięć na stalowym wzorcu (Rys. 4). Jednakże to składowa częstotliwościowa pozwala na ocenę ich wielkości (głębokości).

Analiza amplitudowo-częstotliwościowa pozwala na rozróżnianie materiałów ferromagnetycznych i nieferromagnetycznych. Jednakże do rozróżniania materiałów nieferromagnetycznych między sobą bardziej użyteczna jest analiza składowej amplitudowej (Rys. 5).

Zwiększenie odległości sondy pomiarowej od powierzchni materiału badanego (efekt lift off) powoduje wzrost amplitudy napięcia (Rys. 6a) oraz spadek częstotliwości sygnału (Rys. 6b).

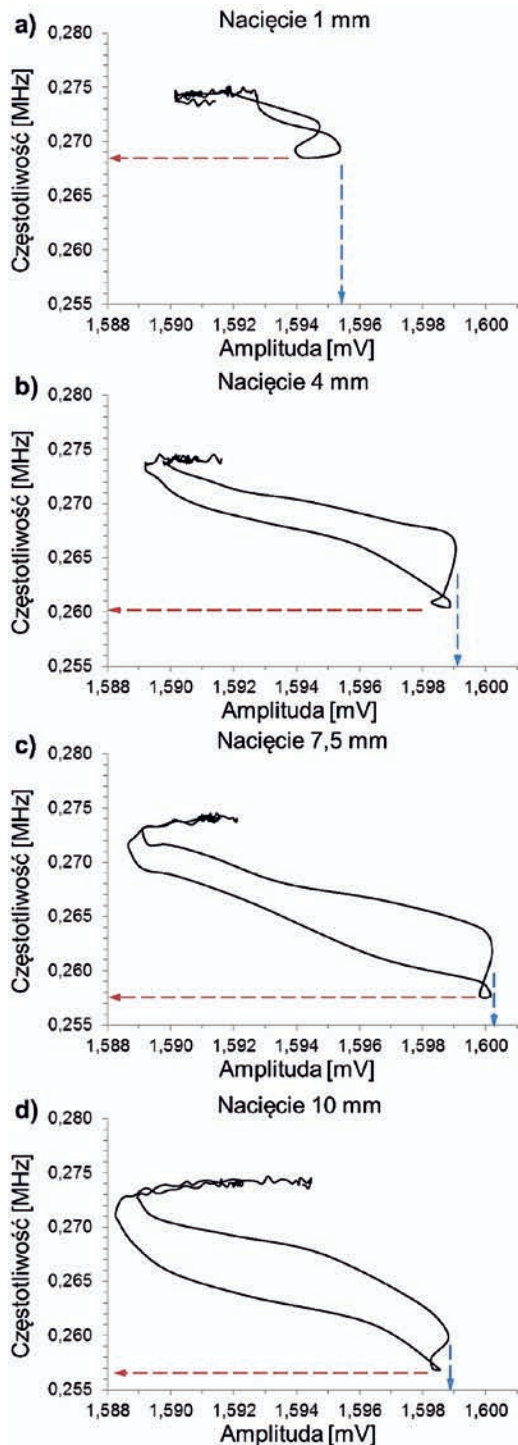
4. Podsumowanie

Pomiar amplitudowo-częstotliwościowy może być wykorzystywany w trzech obszarach badań ET: w defektoskopii, strukturokopii oraz pomiarach grubości/odległości.

Zminiaturyzowane urządzenie - Wirotest M2, rozszerza możliwości dotychczas stosowanej aparatury pomiarowej IMP, pracującej w oparciu o generator ze swobodnie oscylującym obwodem rezonansowym, o pomiar dwuparametrowy. Pozwala to na dokładniejszą ocenę stanu badanego materiału oraz zmniejsza ryzyko niewykrycia wady lub niezgodności.

Przedstawiona technika pomiaru otwiera nowe kierunki aplikacyjne dla urządzeń produkcji IMP w obszarze badań nieniszczących.

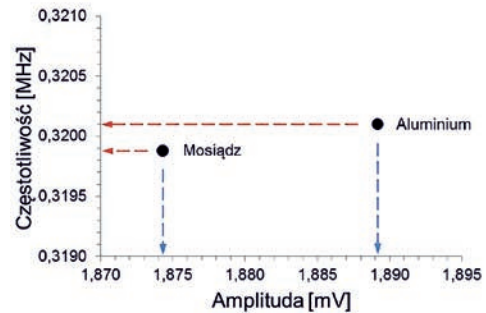
pomiarowy do badań nieniszczących metodą prądów wirowych”, nr 13.1.01.429.00.



Rys. 4. Sygnał amplitudowo-częstotliwościowy dla nacięcia (szerokość x głębokość): a) 0,5 x 1 mm, b) 0,5 x 4 mm, c) 0,5 x 7,5 mm, d) 0,5 x 10 mm.

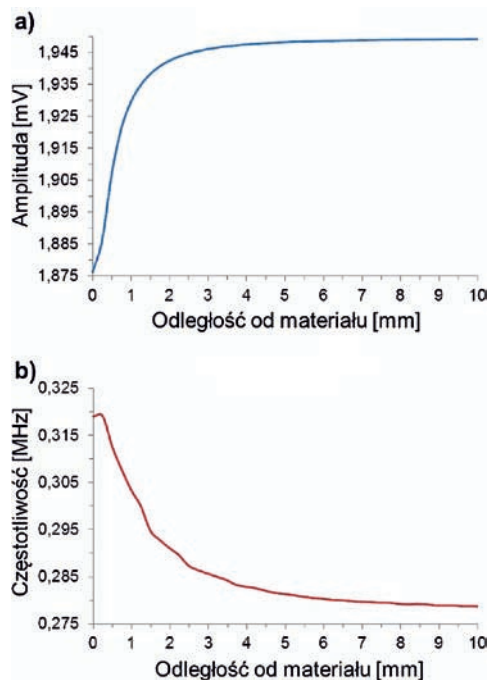
Fig. 4. The amplitude-frequency signal for the notch (width x depth): a) 0,5 x 1 mm, b) 0,5 x 4 mm, c) 0,5 x 7,5 mm, d) 0,5 x 10 mm.

Badania oraz wykonanie układu pomiarowego zrealizowano w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w ramach pracy statutowej w 2018 r. pt. „Zminiaturyzowany układ



Rys. 5. Sygnał amplitudowo-częstotliwościowy dla mosiądzu CuZn40Pb2 (diamagnetyk) oraz aluminium AW-5754 (paramagnetyk).

Fig. 5. The amplitude-frequency signal for the CuZn40Pb2 brass (diamagnetic material) and AW-5754 aluminum (paramagnetic material).



Rys. 6. Przebieg amplitudy napięcia (a) oraz częstotliwości sygnału (b) podczas zbliżania sondy pomiarowej do powierzchni mosiądzu CuZn40Pb2.

Fig. 6. The course of voltage amplitude (a) and signal frequency (b) during approaching the measuring probe to the CuZn40Pb2 brass surface.

5. Literatura/References

- [1] A. Lewińska-Romicka, „Badania materiałów. Metoda prądów wirowych” Biuro Gamma, Warszawa, 2007.
- [2] A. Lewińska-Romicka, „Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii” Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
- [3] Norma Europejska PN-EN ISO 15549, „Non-destructive testing – Eddy current testing – General principles”, 2011.
- [4] A. Kondej, A. Szczepański, „Zminiaturyzowane urządzenie pomiarowe do badań nieniszczących metodą prądów wirowych – Wirotest serii M” Przegląd Spawalnictwa, vol. 89, no. 9, pp. 26-30, 2017.