

doi:10.15199/48.2018.02.22

Wybrane metody pomiarowe parametrów linii opóźniających z akustyczną falą powierzchniową

Streszczenie. W artykule przedstawiono metody pomiarowe parametrów linii opóźniających z akustyczną falą powierzchniową (AFP). Do badań wykorzystano linie opóźniającą do czujników drgań z AFP. W każdej z metod przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych tych samych linii. Porównano te metody oraz uzyskane wyniki badań.

Abstract. The article presents methods of measuring parameters of delay lines with acoustic surface wave (ASW). The study used delay lines for AFP vibration sensors. Each method presents the results of experimental studies of the same lines. These methods were compared and the results obtained were compared. (**Selected measurement methods of delay line parameters with acoustic surface wave**).

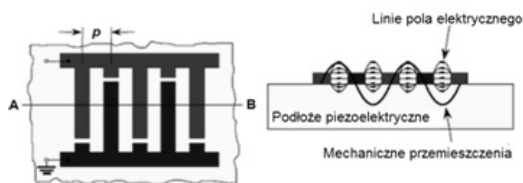
Słowa kluczowe: Linia opóźniająca, filtr, przetwornik międzypalczasty, AFP.

Keywords: Delay line, filter, interdigital transducer, ASW.

Wstęp

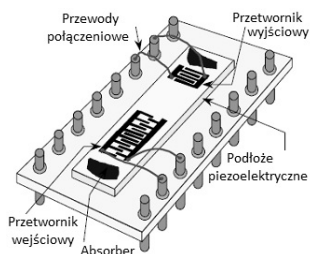
Fala powierzchniowa rozprzestrzenia się po powierzchni swobodnej ciała stałego i zanika w jego głębi. Głębokość wnikania fali zależy od typu fali, jej częstotliwości oraz rodzaju ośrodka i zwykle odpowiada długości tej fali [2].

Przełomem w technicznym wykorzystaniu fali powierzchniowej było skonstruowanie przez White'a i Voltmera w 1965 roku przetwornika międzypalczastego. Jest on złożony z naprzemiennie położonych elektrod metalowych o szerokości równej czwartej części długości wzbudzanej fali powierzchniowej. Konstrukcję przetwornika międzypalczastego przedstawiono na rys.1. [2].



Rys. 1. Dwukierunkowy przetwornik międzypalczasty: A – widok z góry, B – przekrój poprzeczny [2]

Sygnal elektryczny o częstotliwości wzbudzanej fali podany na przetwornik międzypalczasty powoduje powstanie zmiennego pola elektrycznego pomiędzy elektrodami przetwornika. Pole to wskutek efektu piezoelektrycznego powoduje powstanie zmiennych naprężeń mechanicznych, które stają się źródłem fali powierzchniowej [2].



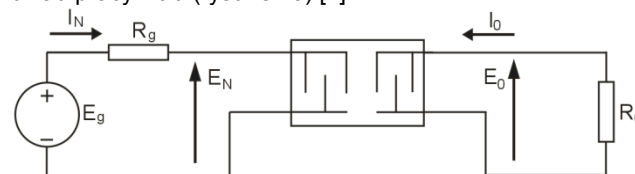
Rys. 2. Filtr bierny z falą powierzchniową złożony z dwóch współpracujących przetworników międzypalczastych [2]

Fala rozprzestrzenia się w obie strony w kierunku prostopadłym do elektrod przetwornika. Jeśli na jej drodze propagacji umieścimy drugi przetwornik międzypalczasty, to na jego wyjściu otrzymamy sygnał elektryczny. Taka

konstrukcja dwóch współpracujących przetworników tworzy filtr elektryczny bierny z AFP przedstawiony na rys.2 [2].

Fala powierzchniowa przemieszcza się po piezoelektrycznym podłożu z prędkością w przybliżeniu 10^5 mniejszą od prędkości światła, co sprawia, że każdy filtr z akustyczną falą powierzchniową jest zarazem linią opóźniającą. Jeśli przetwornik wzbudza falę powierzchniową, to wskutek odwrotnego efektu piezoelektrycznego zamienia rozprzestrzeniającą się w jego obszarze falę powierzchniową na sygnał elektryczny. Dlatego dwa współpracujące przetworniki tworzą elektryczny filtr bierny [2].

Podzespoły z AFP znalazły zastosowanie w wielu obszarach techniki od początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Początkowo były stosowane do celów militarnych w radiolokacji i telekomunikacji głównie, jako filtry pasmowe. Zakres ich pracy mieści się w przedziale częstotliwości od 10 MHz do 3 GHz. Poniżej przedstawiono układ pracy filtru (rysunek 3) [2].



Rys. 3. Elektryczny układ pracy filtru biernego z AFP [2]

Parametry, które mierzymy to: charakterystyka częstotliwościowa, impedancja wejściowa oraz impedancja wyjściowa. Poniższe równania opisują filtr, jako czwórnik elektryczny bierny:

$$(1) \quad I_N = Y_N E_N + Y_w E_0,$$

$$(2) \quad I_0 = Y_w E_N + Y_0 E_0,$$

$$(3) \quad E_N = E_g - I_N R_g,$$

$$(4) \quad E_0 = -I_0 R_0,$$

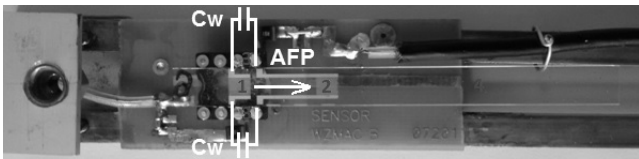
gdzie:

Y_N - admitancja wejścia, Y_0 - admitancja wyjścia, Y_w - admitancja dwóch współpracujących przetworników, pozostałe wielkości są przedstawione na rysunku 3 [2].

W ośrodkach piezodielektrycznych wzbudzenie fali oraz zamiana jej na sygnał elektryczny następuje poprzez przetworniki międzypalczaste w sposób analogiczny jak w przypadku próbkowania sygnału w czasie. Ta cecha linii

opóźniającej pozwala na prawie dowolne kształtowanie charakterystyk częstotliwościowych [2].

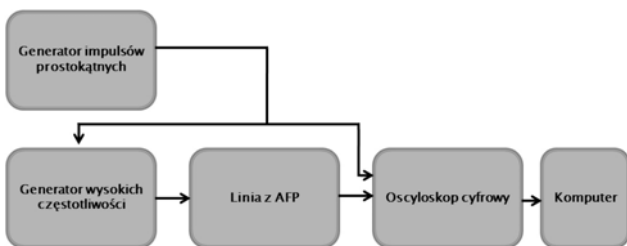
Rzeczywisty wygląd badanej linii opóźniającej przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Linia opóźniająca do czujnika (gdzie: 1 – przetwornik wejściowy, 2 – przetwornik wyjściowy, 3 – przewody połączeniowe, 4 – podłoże piezoelektryczne (kwarc) [1]

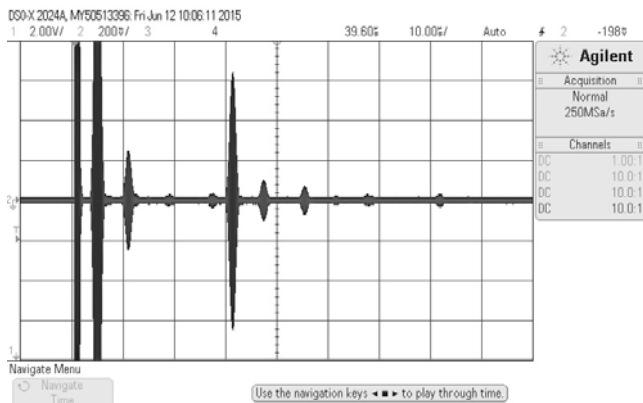
Pomiar sygnałów w linii opóźniającej

Poniższy rysunek (rysunek 5) przedstawia schemat blokowy stanowiska do pomiaru parametrów w linii opóźniającej z AFP [1].



Rys. 5. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego do badania linii opóźniających z AFP [1]

Oscylogram znajdujący się poniżej przedstawia sygnały pasożytnicze odbierane z różną wartością opóźnienia przez przetwornik międzypalczasty odbiorczy.

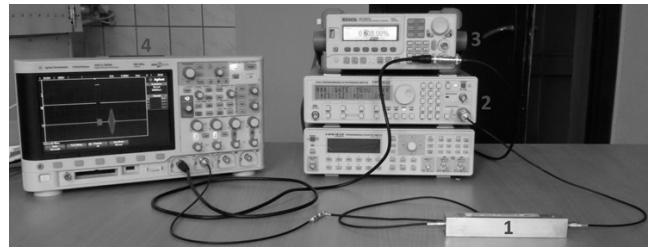


Rys. 6. Przebiegi czasowe sygnałów w linii opóźniającej z AFP [1]

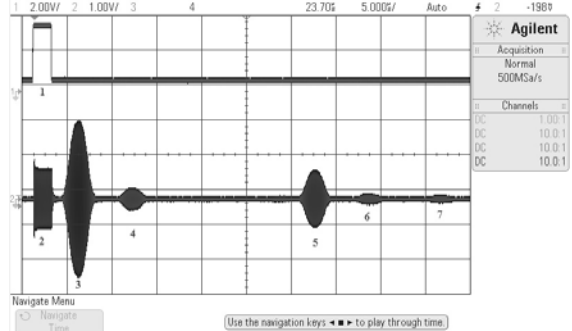
Metoda badań wykorzystująca oscyloskop cyfrowy

Stanowisko do badań linii opóźniającej z AFP przedstawia rysunek 7.

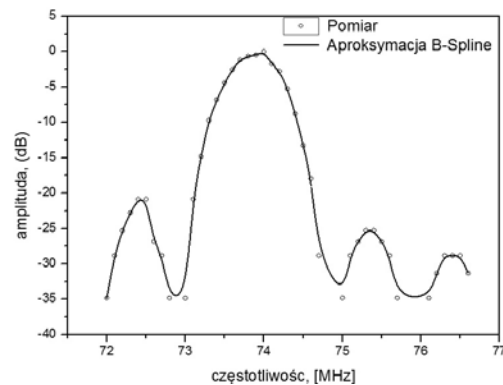
Pomiar charakterystyki częstotliwościowej metodą bezpośrednią polegał na zmianie częstotliwości zasilającej w przedziale $f = 72-76,7$ MHz, i odczytywaniu wartości amplitudy na oscyloskopie cyfrowym. Następnie obliczono wartość amplitudy w dB w celu wykreślenia charakterystyki [1]. Przykładowe wyniki, po wykorzystaniu aproksymacji B-Spline, przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 7. Stanowisko do badania parametrów linii opóźniającej z AFP w dziedzinie czasu (1-linia opóźniająca, 2- generator w.c., 3- generator impulsów prostokątnych, 4 oscyloskop cyfrowy [1]

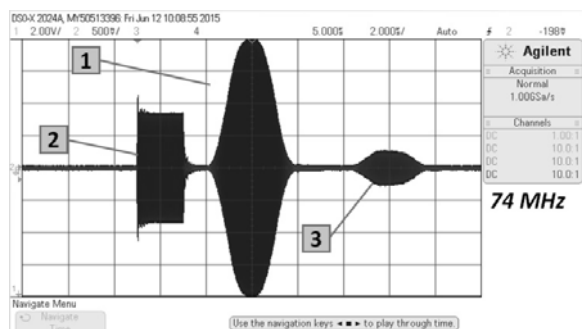


Rys. 8. Przebiegi czasowe sygnałów w linii opóźniającej z AFP (1 – impuls prostokątny, 2 – sygnał bezpośredni, 3 – sygnał użyteczny, 4-7– sygnały pasożytnicze [1]



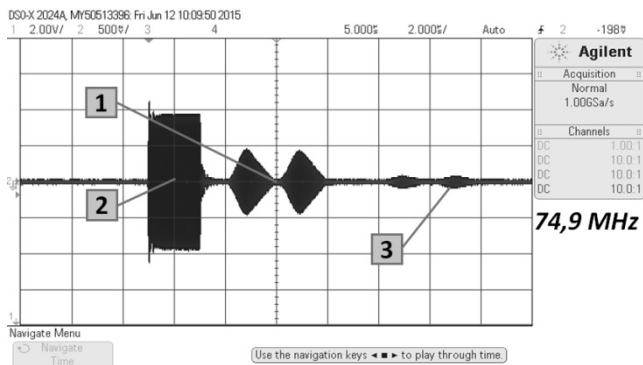
Rys. 9. Pomiar bezpośredni charakterystyki częstotliwościowej oscyloskopem cyfrowym [1]

Następnie zbadano wpływ podwyższonej częstotliwości na sygnał użyteczny w badanej linii opóźniającej zaprojektowanej dla pracy przy częstotliwości równej 74 MHz. Jeśli wydłużymy sygnał użyteczny, to z jego części środkowej można mierzyć amplitudę charakterystyki częstotliwościowej. Jeśli sygnał skrócimy, to otrzymamy możliwość rejestracji odpowiedzi impulsowej linii. Na rysunku 10-11 przedstawiono wpływ zmiany częstotliwości na sygnał użyteczny (paczka falowa) [2].



Rys. 10. Sygnały w linii: 1-użyteczny, 2-bezpośredni, 3-pasożytniczy dla $f=74$ MHz [1]

Efekt zmiany częstotliwości powoduje otrzymanie zbyt szerokiej paczki falowej, co pociąga za sobą zanik sygnału użytecznego w linii.

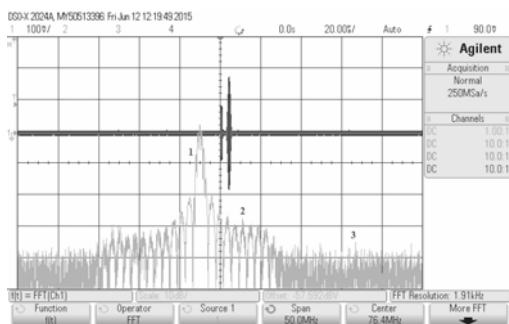


Rys. 11. Sygnały w linii: 1-użyteczny, 2-bezpośredni, 3-pasożytniczy dla $f=74,9$ MHz [1]

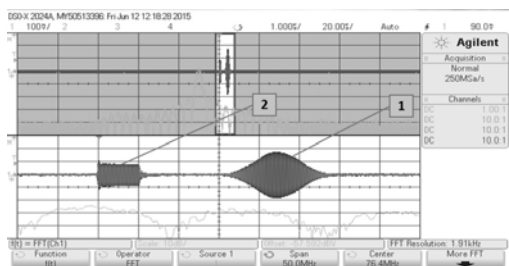
Zanik prawidłowego sygnału użytecznego powoduje brak możliwości wyznaczenia w ten sposób odpowiedzi impulsowej linii opóźniającej z AFP. Z zamieszczonych wykresów zmian paczki falowej pod wpływem częstotliwości wynika, iż zaprojektowana linia opóźniająca z AFP do poprawnej pracy wymaga określonej częstotliwości w tym wypadku wynoszącej 74 MHz [3].

Następnie wyznaczono szybką transformatę Fouriera (FFT) tego przebiegu (rysunek 12, 13). Listki boczne prążków widma otaczają listek główny, który położony jest dla częstotliwości wynoszącej 76,4 MHz ich obecność głównie wynika z tzw. przecieku FFT w przypadku zastosowania okna prostokątnego [1].

Teoretyczna charakterystyka częstotliwościowa sygnału użytecznego linii opóźniającej z AFP powinna mieć przebieg w przybliżeniu opisany nieprzyczynową funkcją sinc [4]. Zdolność rozróżnienia poszczególnych składowych otrzymanego widma sygnału z linii opóźniającej wyniosła 1,91 kHz. Wartość omiatania (Span) została ustawiona na 50 MHz [1].



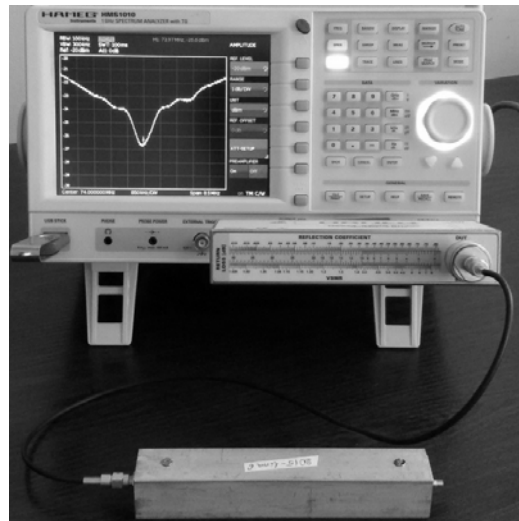
Rys.12. Oscylogram FFT: 1–listek główny, 2–listki boczne, 3–szum [1]



Rys 13. Przybliżenie oscylogramu FFT (1–sygnał bezpośredni, 2–sygnał użyteczny (paczka falowa) [1]

Metoda badań wykorzystująca analizator widma

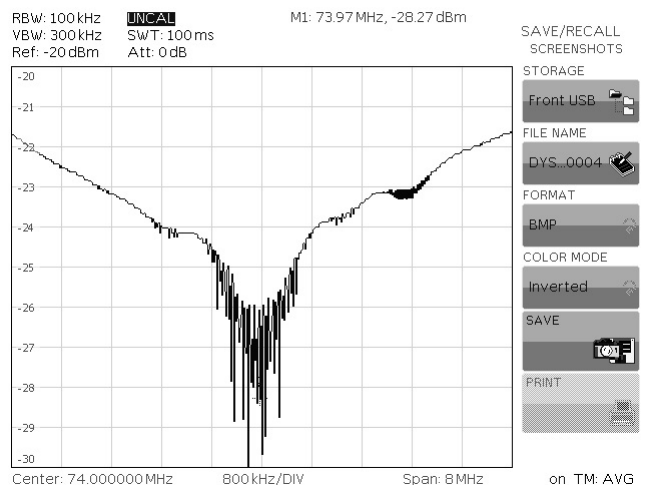
Stanowisko do badania linii opóźniającej w dziedzinie częstotliwości zostało przedstawione na rysunku 14.



Rys. 14. Użyty analizator widma Hameg HMS1010 z dołączonym mostkiem Hameg HZ 547 oraz badana linia [1]

Na poniższych przebiegach charakterystyk przedstawiono współczynnik odbicia dla przetwornika międzypalczastego odbiorczego w układzie o standardowej impedancji 50 Ω . Odpowiednio dokładny dobór tego parametru pozwala na ograniczenie strat w linii opóźniającej z AFP [1].

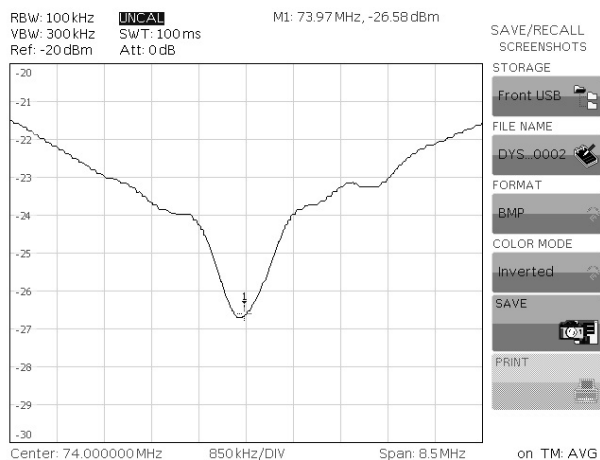
W badanych liniach opóźniających dopasowanie było realizowane poprzez dołączenie indukcyjności. Na rysunku 15 został przedstawiony przykładowy przebieg współczynnika odbicia wraz z sygnałami: odbitymi, sygnałami ech wielokrotnych oraz z sygnałem odbitym od krawędzi płytki piezoelektrycznej. Przebieg jest odkształcony [1].



Rys. 15. Zależność współczynnika odbicia od dopasowanego przetwornika w funkcji częstotliwości w linii opóźniającej z sygnałami pasożytniczymi odbitymi [1]

Z uzyskanego wykresu widać, iż sygnały pasożytnicze znajdują się wokół częstotliwości pracy przetwornika, czyli 74 MHz. Dla częstotliwości wskazywanej przez dodany na ekranie analizatora marker (M1) równy 73,97 MHz, osłabienie mocy wynosi -28,27 dBm [1].

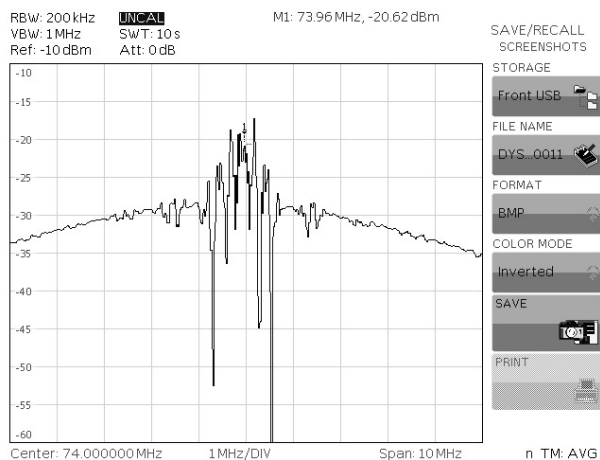
Na kolejnym rysunku (rysunek 16) przedstawiono przebieg dla tej samej linii, ale po usunięciu części sygnałów pasożytniczych, dzięki nałożeniu absorbera. Efektem tego jest gładki przebieg współczynnika odbicia, osłabienie mocy wynosi $-26,58$ dBm dla tego samego markera (M1) [1].



Rys. 16. Zależność współczynnika odbicia od dopasowanego przetwornika w funkcji częstotliwości w linii po wyeliminowaniu sygnałów pasożytniczych [1]

Pomiar charakterystyk częstotliwościowych

Druga część pomiarów linii opóźniających z wykorzystaniem analizatora widma to pomiary charakterystyk częstotliwościowych amplitudowych. Dla badanej linii opóźniającej przykładową charakterystykę częstotliwościową przedstawiono na rysunku 17 [1].

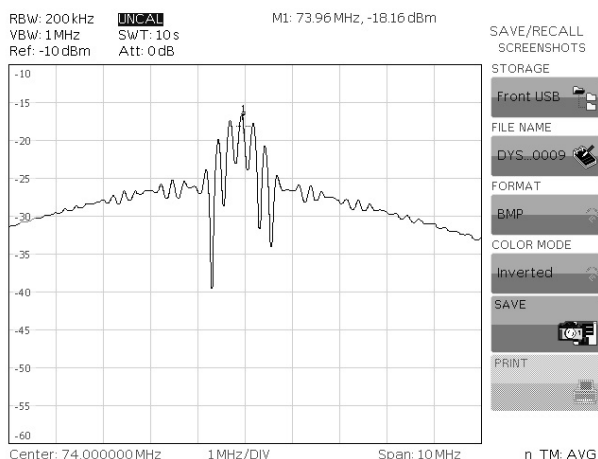


Rys. 17. Amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa $H(\omega)$ z sygnałami pasożytniczymi [1]

Analizując uzyskane wyniki można zauważyć, że dla częstotliwości 74 MHz straty w linii są na poziomie około 20 dBm. Dla częstotliwości do 40 MHz i powyżej 108 MHz charakterystyka amplitudowa ulega szybkim zmianom i jest zaszumiona [1].

Następny zrzut z ekranu analizatora widma (rysunek 18) przedstawia, amplitudową charakterystykę, lecz po

usunięciu części sygnałów pasożytniczych w linii opóźniającej z AFP. Uzyskana charakterystyka nie posiada szybkozmiennych nierówności spowodowanych sygnałami pasożytniczymi [1].



Rys. 18. Amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa $H(\omega)$ po zastosowaniu absorbera [1]

Wnioski

Linie opóźniające, które wchodziły w skład podzespołów elektronicznych z akustyczną falą powierzchniową mogą być wykorzystane w bardzo szerokim zakresie zastosowań np. do czujników przyspieszenia [3,4]. Charakteryzują się one dużą niezawodnością oraz stabilnością parametrów przy bardzo dobrej współpracy z układami klasycznej elektroniki. Niewątpliwymi ich zaletami w obecnej dobie wszechobecnej miniaturyzacji są niewielkie wymiary i mała masa. Cechy te pozwalają na stosowanie ich w czujnikach różnych wielkości fizycznych [2].

Przedstawiona linia opóźniająca pracuje przy wysokich częstotliwościach, ponadto nie wymaga konieczności strojenia. Niski koszt produkcji tych układów przy dużej powtarzalności spowodował ich duży popyt, co się przyczyniło m.in. do wyparcia filtrów LC w wielu obszarach techniki [4].

Autor: mgr inż. Piotr Borowik, studia doktoranckie, Wydział Elektryczny PCz E-mail: piotr.borowik1990@gmail.com

LITERATURA

- [1] P. Borowik, *praca magisterska*, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, 2015 r.
- [2] J. Filipiak, Czujniki przyspieszenia z akustyczną falą powierzchniową, monografia nr 121, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2006 r., ISBN 83-7193-313-4, ISSN 0860-5017.
- [3] J. Filipiak, C. Kopycki, J. Ostrowski, Analiza wybranych sposobów pomiaru zmian opóźnienia fali w czujnikach z falą powierzchniową, *Akustyka Molekularna i Kwantowa*, Gliwice 1997 r., 18, 57-74.
- [4] J. Filipiak, C. Kopycki, Using surface acoustic waves to detect small vibration, *Euro-sensors XII*, Southampton 1999 r., 1, 109-112.