

# Projektowanie geometrii sensorów piezoelektrycznych - elektryczna odpowiedź elementu piezoelektrycznego na wymuszenie mechaniczne

JAN SZYMENDERSKI<sup>1,\*</sup> AND PRZEMYSŁAW SAŁAPATA<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Elektryczny, pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań

\* e-mail: jan.szymenderski@put.poznan.pl

\*\* e-mail: przemyslaw.salapata@student.put.poznan.pl

Copyright 28 listopada 2018

Do napisania streszczenie artykułu.

## 1. WPROWADZENIE

TODO Do napisania wprowadzenie. Zjawisko piezoelektryczne. Artykuł ma pokazać metodykę projektowania sensorów na konkretnym przykładzie.

[przykład linka Google](#)

## 2. ZAŁOŻENIA PROWADZONYCH BADAŃ

Źródłem wymuszeń mechanicznych są owalne ciała (bryły sztywne) o masie  $m_s = 0.03 \div 1.10\text{g}$  poruszające się torem ruchu przedstawionym na Rys.1. Tor wykonany jest ze stalowej rury i w obszarze A (patrz: Rys.1) następuje sprężysty kontakt ze ścianą toru. Należy nadmienić, że w obszar A uderza 98% poruszających się ciał. W odrębnych badaniach ustalono również, że prędkość ciała w momencie kontaktu wynosi  $v_s = 3.0 \div 7.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Wymuszenia mogą pojawiać się minimalnie w odstępach  $T_{smin} = \text{TODO}$ .

TUTAJ RYSUNEK TORU RUCHU ZIARNA

### Rys. 1. Zakładany tor lotu ciała fizycznego

Założono, że miejscem montażu przetwornika jest obszar A na Rys.1, który stanowi okrąg o średnicy  $d_p = \text{TODOmm}$ . Dodatkowo promień ugięcia płaszczyzny A wynosi  $R_A = \text{TODOmm}$ , a kąt padania ciała na tę powierzchnię  $\delta_p = 135^\circ$ .

Tak ściśle i ciekawie przedstawione założenia stały się dobrym punktem wyjścia do szerzej rozumianych badań. Artykuł na naszkicowanym już przykładzie ukazuje zależność odpowiedzi elektrycznej wybranych przetworników PVDF z energią wymuszenia mechanicznego a przede wszystkim konstrukcją (zwaną także geometrią) układu.

## 3. METODYKA BADAŃ

Jednym z najważniejszych aspektów badań było ich zaprojektowanie. Tu najlepiej sprawdza się metoda burzy mózgów. Można rzec, że była ona nieodłącznym elementem każdego etapu badań. Na Rys.2. przedstawiono efekt prac nad sposobem realizacji celu eksperymentów. Ważniejszym etapom poświęcono osobny akapit artykułu. Natomiast niewymagającym komentarza napisano krótkie wyjaśnienie.

## 4. STANOWISKO BADAWCZE

Konstrukcję stanowiska badawczego uzależniono od kilku czynników:

- prostota budowy,
- powtarzalność pomiarów,
- separacja zewnętrznych czynników mogących mieć wpływ na przebieg odpowiedzi elektrycznej,
- możliwość wymiany modelu przetwornika (patrz: Rys.3),
- łatwa zmiana mocowania przetwornika,
- możliwość regulacji energii i pędu wymuszenia mechanicznego w zakresie  $E = 0.24 \div 14.4$  oraz  $p = 0.12 \div 4.8$  obliczonym na podstawie zależności na pęd i energię kinetyczną z fizyki klasycznej 1.

$$E_s = \frac{m_s \cdot v_s^2}{2} \quad (1)$$

$$p_s = m_s \cdot v_s \quad (2)$$

,gdzie:  $m_s$  - masa źródła,  $v_s$  - prędkość źródła,  $E_s$  - energia kinetyczna źródła,  $p_s$  - pęd źródła.

Po podstawieniu danych zawartych w 2 do zależności 1 oraz otrzymano odpowiednio:

$$E_{smin} = \frac{m_{smin} \cdot v_{smin}^2}{2} = \frac{0.03 \cdot 4^2}{2} = 0.24mJ$$

$$p_{smin} = m_{smin} \cdot v_{smin} = 0.03 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 0.12 \cdot 10^{-3} \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

$$E_{smax} = \frac{m_{smax} \cdot v_{smax}^2}{2} = \frac{0.80 \cdot 6^2}{2} = 14.4mJ$$

$$p_{smax} = m_{smax} \cdot v_{smax} = 0.80 \cdot 6 = 4.8 \cdot 10^{-3} \frac{kg \cdot m}{s^2}$$



**Rys. 2.** Infografika obrazująca metodykę prowadzonych badań.

Biorąc pod uwagę powyższe założenia zdecydowano o zastosowaniu napędu sprężynowego w projektowanym stanowisku. Z tego powodu rozpoczęto pracę od doboru sprężyny. Głównymi kryteriami doboru były współczynnik sprężystości sprężyny oraz jej długość. Na podstawie zależności 3 Wybrano sprężynę o  $k = 0.17 \frac{N}{mm}$  i długości  $l = 80mm$ . Następnie zaprojektowano <sup>1</sup>układ przedstawiony na Rys.3. Element symulujący źródło impulsu mechanicznego przewidziano wykonać z drewnianej sklejki o masie  $m_s = 3.60g$ . Na zdjęciu Rys.4 przedstawiono również realizację wspomnianego stanowiska.

$$E_s = E_p = k \cdot x^2 \quad (3)$$

,gdzie:  $E_p$  - energia potencjalna sprężystości  $k$  - współczynnik sprężystości,  $x$  - odkształcenie sprężyny.

TUTAJ PROJEKT STANOWISKA

**Rys. 3.** Projekt stanowiska badawczego.

TUTAJ ZDJĘCIE STANOWISKA

**Rys. 4.** Realizacja stanowiska badawczego.

Tak skonstruowane stanowisko pozwoliło uzyskać charakterystyki mechaniczne  $E(x)$  i  $p(x)$  przedstawione na Rys.5. Gdyby wziąć pod uwagę możliwość wymiany sprężyny oraz elementu wprawianego w ruch otrzymanoby całą rodzinę charakterystyk, a przez to większą uniwersalność urządzenia.

CHARAKTERYSTYKA

**Rys. 5.** Charakterystyka mechaniczna stanowiska badawczego.

<sup>1</sup>Szczegółowy projekt stanowiska dostępny pod [adresem](#)

## 5. SELEKCJA CZUJNIKA

Równoległe z pracami nad stanowiskiem badawczym przeprowadzono przegląd dostępnych na rynku przetworników piezoelektrycznych. Uwagę skoncentrowano przede wszystkim na przetwornikach PVDF[1]<sup>2</sup> Do badań wybrano 6 konkretnych produktów (patrz: Rys.6.):

1. Czujnik TODO
2. Czujnik TODO
3. Czujnik TODO
4. Czujnik TODO
5. Czujnik TODO
6. Czujnik TODO

TUTAJ ZDJĘCIE CZUJNIKÓW

**Rys. 6.** Badane przetworniki piezoelektryczne.

Aby dokonać selekcji przetwornika wybrano najprostszy układ geometryczny (patrz: Rys. 8). Został on wykonany z fragmentu tworzywa sztucznego. Układ oznaczono tak, aby można było ustawić go ponownie w tej samej pozycji po wymianie sensora. Sensor przyklejano na taśmę dwustronną o grubości ok w ustalonym uprzednio miejscu. 1.5mm.

TUTAJ RYSUNEK GEOMETRII CZUJNIKA

**Rys. 7.** Konstrukcja pozwalająca na selekcję przetwornika piezoelektrycznego.

Dla uzyskania szerszego spektrum danych dla każdego czujnika powtarzano pomiary w dwóch wariantach:

1. stała podpora na jednym z końców układu przetwornika, drugi koniec swobodny,
2. stała podpora na jednym z końców układu przetwornika, drugi koniec z amortyzatorem z gąbki.

Dla każdego pomiaru przeprowadzono po 10 prób, i pozwoliło to zebrać poniższe wyniki. Parametry, jakie wzięto pod uwagę przy ocenie jakości sygnału, to czas trwania ( od inicjalizacji do wygaszenia ) oraz wartość napięcia międzyszczytowego oznaczanych dalej odpowiednio  $t_d$  i  $V_{pp}$ . Ich porównanie po statystycznej analizie przedstawiono na Rys.8. Trzeci niebieski słup w skali od 0 ÷ 5 oznacza subiektywną ocenę poziomu zniekształcenia otrzymanego sygnału. Podczas badań zwracano również uwagę na sposób przyklejenia przetwornika do plastikowego płaskownika tak, aby nie fałszowało to przeprowadzanych pomiarów.

TUTAJ WYKRES PORÓWNAWCZY SYGNAŁÓW

**Rys. 8.** Zestawienie parametrów sygnałów dla poszczególnych czujników.

<sup>2</sup>Polifluorek winylidenu - materiał piezoelektryczny charakteryzujący się elastycznością.

Na podstawie Rys.8 możemy stwierdzić, że najwyższą wartość uzyskanego napięcia  $V_{pp}$  otrzymaliśmy dla czujnika oznaczonego numerem 1.2. Szacuje się, że wyższa wartość  $V_{pp}$  będzie bardziej odporna na szумы pochodzące z maszyny, na której sensor byłby umieszczony. Zgodnie z założeniami przeznaczeniem sensora jest przecież licznik impulsów mechanicznych. Z dużym prawdopodobieństwem można uznać, że wyzwalanie licznika następować będzie na jednym ze zboczy pierwszej półfali lub np. wyprostowanej całej fali sygnału. Odnośnie czasu trwania sygnału jednoznacznie można stwierdzić, że im krótszy tym lepszy. Pozwala to na wyższą częstotliwość wymuszeń mechanicznych bez wystąpienia zjawiska aliasingu. Oczywiście zbyt krótki, o zbyt małej energii może być problematyczny do wychwycenia - będzie wymagać dużej częstotliwości próbkowania. Podczas wykonywania pomiarów zauważono ciekawe zależności, o których warto wspomnieć przy okazji tego artykułu. Otóż zauważono zależność przebiegu sygnału wyjściowego od rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych w przetworniku. Tak na przykład różnica w zastosowaniu tłumika drgań w postaci gąbki objawia się przede wszystkim czasem trwania sygnału, inaczej mówiąc czasem tłumienia drgań. Jest to wniosek dość oczywisty, jednak warto o nim pamiętać konstruując przetworniki piezoelektryczne. Oprócz tłumików czy filtrów stricte elektrycznych są do dyspozycji również mechaniczne. Gwoli ścisłości w układzie z tłumikiem (patrz: Rys.10) czas wygaszania sygnału wynosi  $t_d = TODOs$  i jest krótszy niż w układzie bez tłumika  $t_d = TODOs$  (patrz: Rys.9.). Dysproporcja była powtarzalna dla każdego kształtu układu pomiarowego.

Patrząc dalej na te same próbki pomiarów można również dostrzec, że częstotliwość podstawowej harmonicznej sygnału ma bardzo zbliżoną wartość. Nie jest to przypadek. Dzieje się tak ponieważ jest to główna harmoniczna drgań własnych konstrukcji przetwornika. W tym konkretnym przypadku belki o długości  $l = mmTODO$  i jednym punkcie mocowania. Projektując przetwornik należy zwrócić uwagę, aby odstroić drgania własne konstrukcji od drgań wymuszających. W innym przypadku uzyskamy szum informacyjny. Dalej ma to również wpływ na projektowanie elektronicznego układu przetwornika. W obwodach AC spodziewa się takich właśnie częstotliwości. W następnym akapicie 6 mówi się również o zmianie częstotliwości, gdy konstrukcja jest belką o dwóch punktach podparcia.

Napięcie  $V_{pp}$  wykazuje się niezmiennością w odniesieniu do przedstawionych zmian w konstrukcji. Jednak jest ono zależne od zupełnie innego parametru, od energii zderzenia. Jest ona bezpośrednią przyczyną ugięcia belki z przetwornikiem. Energia zderzenia, a dokładniej ta stracona, oraz czas kontaktu z belką stanowią ważne parametry dla przebiegu sygnału napięciowego przetwornika. Więcej o tym poruszono w akapicie 6.

PRZEBIEG DLA PRÓBK 1.2.

**Rys. 9.** Przykładowy przebieg pojedynczego sygnału dla próbki oznaczonej roboczo 1.2Acs15dt.

PRZEBIEG DLA PRÓBK 1.2.

**Rys. 10.** Przykładowy przebieg pojedynczego sygnału dla próbki oznaczonej roboczo 1.2Acf15dt.

## 6. OPTIMALIZACJA UKŁADU GEOMETRYCZNEGO

## 7. PODSUMOWANIE

## LITERATURA

1. F. S. Ingraham and D. F. Wooley, "Polyvinylidene fluoride," Ind. & Eng. Chem. **56**, 53–55 (1964).