MODELOWANIE DYSKRETNYCH UKŁADÓW MECHATRONICZNYCH ZE WZGLĘDU NA FUNKCJĘ TŁUMIENIA

Katarzyna Białas[1a], Andrzej Buchacz[1b], Damian Gałęziowski [1c]

[1]Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Politechnika Śląska

[a]katarzyna.bialas@polsl.pl, [b]andrzej.buchacz@polsl.pl, [b]damian.galeziowski@gmail.com

Streszczenie

Modelowanie, ze względu na obecne i przyszłe zastosowania, ma istotne znaczenie w procesie konstruowania układów mechanicznych i mechatronicznych. W niniejszej pracy modeluje się dyskretne mechatroniczne układy drgające, różnicując możliwe do aplikacji funkcje tłumienia. Układy zbudowano z dyskretnych modeli mechanicznych, elementów piezoelektrycznych i obwodów elektrycznych *LRC*. Na podstawie wybranych przykładów i typów rozważanych modeli zastępczych wskazano odpowiednie parametry oraz zidentyfikowano miejsca przyłączeń elementów tłumiących aktywnych i piezoaktuatorów, działających jako tłumiki pasywne w finalnych strukturach mechatronicznych.

Słowa kluczowe: modelowanie, element piezoelektryczny, dyskretny układ mechatroniczny, tłumienie pasywne, tłumienie mieszane

MODELING OF DISCRETE MECHATRONIC SYSTEMS WITH REGARD FOR DAMPING FUNCTION

Summary

Modeling with regard for practical and future application is important part of designing and constructing process of technical systems. In this paper discrete mechatronic systems have been modeled in relation to possible application of damping functions. Systems have been built from mechanical discrete models, piezoactuators and electric *LRC* networks. Basing on selected examples and types of considered displacement models, respective parameters have been investigated. In addition, positions in final mechatronic structures of active dampers and piezoactuators, that works as passive absorbers have been characterized and inducted.

Keywords: modelling, piezoelectric element, discrete mechatronic system, passive damping, mixed damping, mixed vibration absorption

1. WSTĘP

Dyskretne układy mechatroniczne rozumie się w pracy jako połączenie mechanicznych modeli dyskretnych z elementami piezoelektrycznymi i zewnętrznymi obwodami elektrycznymi *LRC*.

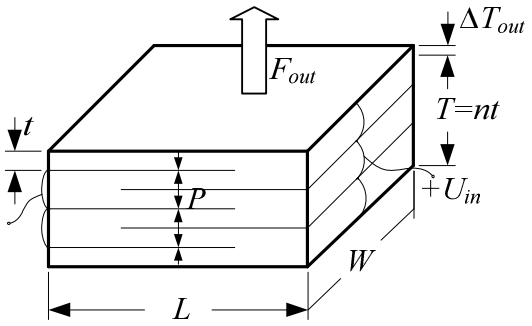
Dobór metody rozkładu funkcji charakterystycznej oraz odpowiednich parametrów, ze względu na podane wymagania w postaci biegunów i zer, wpływa na typ finalnej struktury i konfigurację połączenia piezoaktuatora z układem elektrycznym [1-3].

Praca jest kontynuacją dotychczasowych osiągnięć i badań realizowanych przez gliwicki ośrodek naukowy związanych z zastosowaniem przetworników piezoelektrycznych w tłumieniu drgań [4], komputerowego wspomagania analizy płytki piezoelektrycznej [5] i układów technicznych [6]. Jest również rozszerzeniem poznanej problematyki [7-10] tworzenia dyskretnych mechatronicznych układów [1-3] o elementy aktywne i elementy realizujące pojemność elektryczną ujemną.

Celem pracy jest podsumowanie możliwości modelowania i tworzenia mechatronicznych układów dyskretnych ze względu na możliwą do otrzymania w wyniku rozwiązania zadania odwrotnego funkcję tłumienia. Identyfikacja odpowiednich miejsc przyłączenia elementów piezoelektrycznych i tłumików aktywnych została przedstawiona na przykładach mechatronicznych dyskretnych struktur kaskadowych, rozgałęzionych i mieszanych.

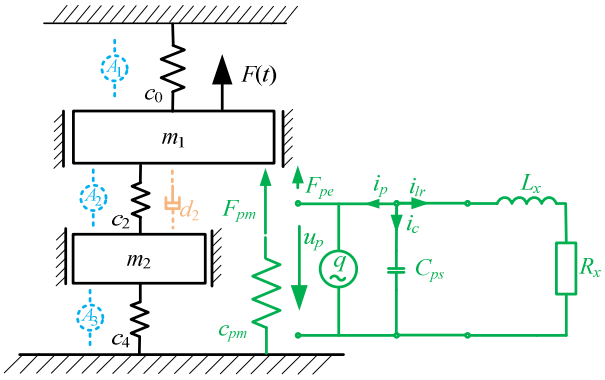
2. DYSKRETNE DRGAJĄCE UKŁADY MECHATRONICZNE

W dyskretnych układach mechatronicznych, w celu redukcji drgań, zastosowano element piezoelektryczny typu „stack" (rys. 1).



Rys. 1. Schemat piezoaktuatora typu „stack"

Przykładową kaskadową strukturę mechatroniczną z elementem piezo działającym w funkcji LR pokazano na rys. 2. Linią przerywaną zaznaczono przykładowe możliwe pozycje dołączenia tłumienia aktywnego bądź pasywnego.



Rys. 2. Przykładowy kaskadowy, dyskretny układ mechatroniczny z elementem piezoelektrycznym połączonym z obwodem LR

Napięcie u_p na płytkach piezoelektryka zapisano jako:

$$u_p = f(e, F_{pe}) \tag{1}$$

gdzie:
e – stała piezoelektryczna,
F_{pe} – składowa elektryczna siły pochodzącej od elementu piezoelektrycznego.

Natężenie prądu i_z w układzie opisano natomiast zależnością

$$i_z = f(e, \dot{x}_i) \tag{2}$$

gdzie:
$\dot{x}_i$ – prędkość elementu inercyjnego, do którego przyłączony jest piezoaktuator.

3. TŁUMIENIE W UKŁADACH MECHATRONICZNYCH

Klasyfikację metod tłumienia w mechatronicznych dyskretnych układach drgających rozszerzono o tłumienie z wykorzystaniem elementów aktywnych (rys 3).

Elementy aktywne można zastosować w tłumieniu mieszanym, łącząc w różnych kombinacjach wybrane metody.

Tłumiki proporcjonalne do elementów inercyjnych d_i dobierane są wg zależności:

$$d_i = \chi c_i \tag{3}$$

gdzie: c_i – element sprężysty, χ = idem - współczynnik proporcjonalności.

Elementy tłumiące proporcjonalne do elementów sprężystych wyznacza się natomiast wg zależności:

$$d_i = 2hm_i \tag{4}$$

gdzie: m_i – element inercyjny wyznaczony w wyniku syntezy, h = idem – parametr opisujący tłumienie w układzie, mający wymiar częstości.

Bezwymiarowe parametry związane z realizacją tłumienia w układzie mechatronicznym zależą od ich pozycji w strukturze i wybranej metody rozkładu funkcji charakterystycznej. Na przykładzie mechatronicznych układów rozgałęzionych o jednym stopniu swobody z dwoma elementami piezoelektrycznymi – rys. 4 i 5, zapisano:

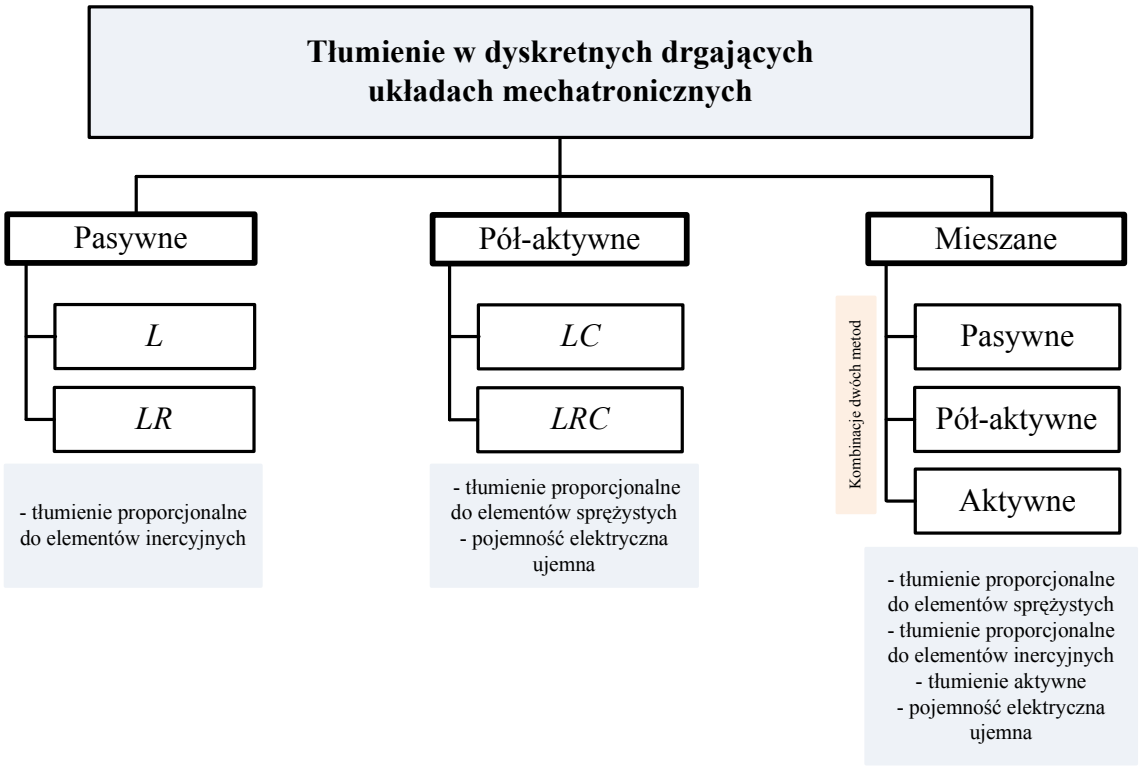
$$2D_{p1} = \frac{d_{p1}\omega_1}{c_2},\ 2D_{p2} = \frac{d_{p2}\omega_1}{c_3} \tag{5}$$

gdzie:
d_{p1}, d_{p2} – elementy inercyjne, c_2, c_3 – elementy sprężyste, ω_1 – częstość układu.

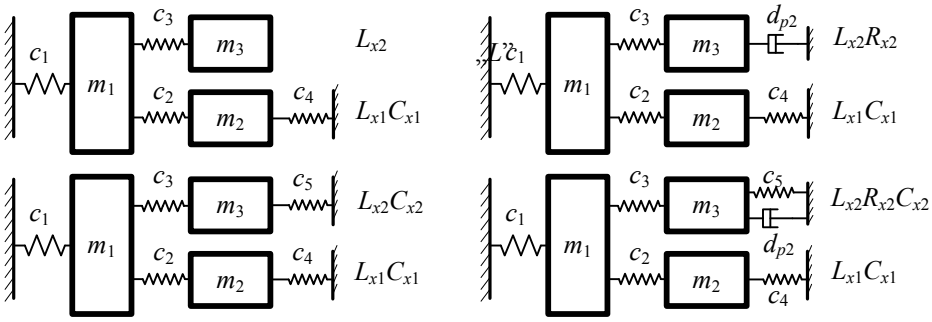
Wartości elementów aktywnych wyznaczono na podstawie [10], zapisując równanie:

$$G = Z \times \Psi - F \tag{6}$$

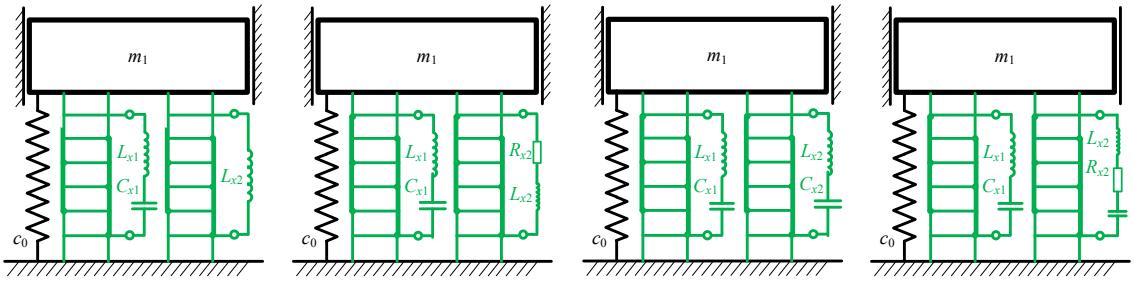
gdzie: $Z = -\omega^2 M + C$,
M – macierz elementów inercyjnych,
C – macierz sztywności,
Ψ – macierz kolumnowa amplitud,
F – macierz kolumnowa sił.



Rys. 3. Podział metod tłumienia w dyskretnych drgających układach mechatronicznych



Rys. 4. Mechaniczne modele zastępcze wybranych układów rozgałęzionych z dwoma elementami piezo

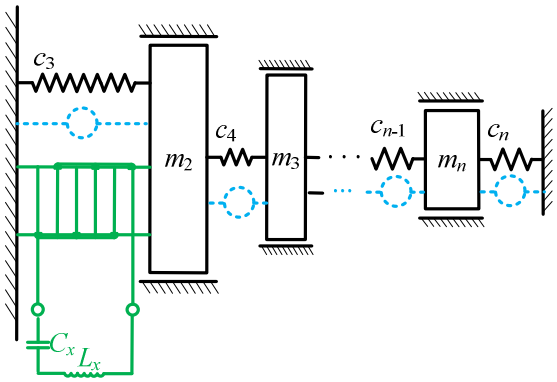


Rys. 5. Wybrane przykłady mechatronicznych dyskretnych układów rozgałęzionych

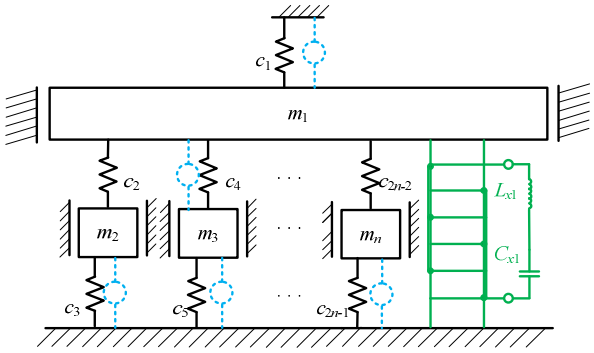
4. PRZYKŁAD UKŁADÓW MECHATRONICZNYCH

Wybrane struktury mechatroniczne z zidentyfikowaną pozycją elementów aktywnych sformalizowano do n stopni swobody. Kolejno, na rys. 6, 7 i 8, pokazano w uproszczeniu przykładowe struktury mechatroniczne kaskadowe, rozgałęzione i mieszane.

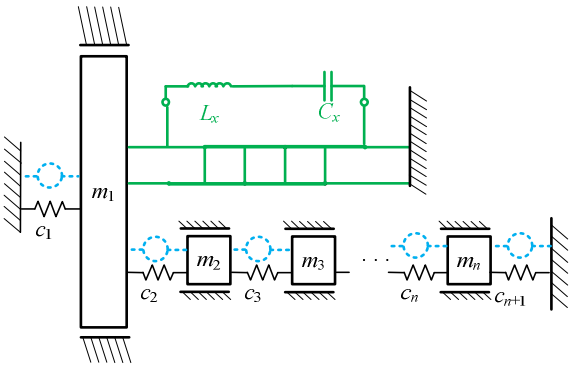
W każdym przedstawionym przypadku układy stłumiono w sposób mieszany, łącząc tłumienie półaktywne z aktywnym. Możliwe są również aplikacje innych kombinacji, włącznie z tłumikami pasywnymi. Elementy pasywne w rozważanych układach mechatronicznych mogą być zastosowane w miejscach przyłączenia elementów aktywnych.



Rys. 6. Dyskretny mechatroniczny układ kaskadowy o n stopniach swobody



Rys. 7. Dyskretny mechatroniczny układ rozgałęziony o n stopniach swobody



Rys. 8. Dyskretny mechatroniczny układ mieszany o n stopniach swobody

Każdy z typów układów mechatronicznych wynika z obranej metody rozkładu funkcji charakterystycznej w postaci powolności lub ruchliwości i zastosowanych algorytmów bezwymiarowych transformacji i retransformacji [1-3]. Syntezy dokonuje się na podstawie wymaganń w postaci widm częstości: biegunów i zer.

5. SPOSTRZEŻENIA

W pracy przedstawiono modele i przykłady mechatronicznych dyskretnych struktur kaskadowych, rozgałęzionych i mieszanych o „n" stopniach swobody z identyfikacją możliwych pozycji elementów piezoelektrycznych i aktywnych. Połączenia piezoaktuatorów z zewnętrznymi obwodami elektrycznymi wyszczególniono odpowiednimi funkcjami tłumienia. W każdym przypadku przedstawione struktury można otrzymać w wyniku syntezy ze względu na podane wymagania w postaci częstości rezonansowych i antyrezonansowych, co czyni pracę szczególnie przydatną projektantom i konstruktorom mechatronicznych środków technicznych.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr N N502 452139 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2010-2013.

Literatura

1. Buchacz A. Gałęziowski D.: Zadanie odwrotne jako projektowanie mechatronicznych układów drgających. „Modelowanie Inżynierskie" 2009, nr 38, s. 19 - 26.
2. Buchacz A. Gałęziowski D.: Synthesis and dimensionless transformations of mechatronic vibrating systems. W: Dynamical Systems Analytical/Numerical Methods, Stability, Bifurcation and Chaos. Łódź: Wyd. Pol. Łódzkiej, 2011, s. 249 - 254.
3. Buchacz A. Galeziowski D.: Synthesis as a designing of mechatronic vibrating mixed systems. "Journal of Vibroengineering" 2012, Vol. 14, Iss. 2, p. 553 - 559.
4. Buchacz A. Płaczek M.: Damping of mechanical vibrations using piezoelements, including influence of connection layer's properties on the dynamic characteristic. "Solid State Phenomena" 2009, Vols. 147 - 149, p. 869 - 875.
5. Buchacz A. Wróbel A.: Computer-aided analysis of piezoelectric plates."Solid State Phenomena" 2010, Vol.164, p. 239 - 242.

6. Żółkiewski S.: Numerical application for dynamical analysis of rod and beam systems in transportation. “Solid State Phenomena” 2010, Vol. 164, p. 343 - 348.
7. Jamroziak K.: Identification of the selected parameters of the model in the process of ballistic impact. “Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering”, International OCOSCO World Press 2011, Vol. 49, Iss. 2, p. 305 - 312.
8. Morgan R. A., Wang K.: Active-passive piezoelectric absorbers for systems under multiple non-stationary harmonic excitations. “Journal of Sound and Vibration” 2002, Vol. 255(4), p. 685 - 700.
9. Białas K.: Comparison of passive and active reduction of vibrations of mechanical systems. “Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering” 2006, Vol. 18, p.455 - 458.
10. Buchacz A. Żurek K.: Odwrotne zadanie dynamiki aktywnych układów mechanicznych w ujęciu grafów i liczb strukturalnych. Gliwice: Wyd. Pol. Śl., 2005.