



SILESIA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science
Institute of Automatic Control

Modelling and control of device casing vibrations for active reduction of acoustic noise

Doctoral Dissertation

by

Stanisław Wrona

Supervisor

prof. dr hab. inż. Marek Pawełczyk

June 2016

Gliwice, POLAND

Streszczenie

Maszyny i urządzenia są często dominującym źródłem hałasu w otoczeniu człowieka. W skali przemysłowej, wysoki poziom dźwięku może prowadzić do utraty słuchu lub innych problemów zdrowotnych. Urządzenia domowe również mogą być źródłem hałasu, choć nie charakteryzują się poziomem dźwięku, który wprost zagrażałby zdrowiu. Mogą one jednak skutecznie utrudniać pracę lub wypoczynek. Częstym sposobem ograniczenia nadmiernego hałasu urządzeń są metody pasywne. Jednak są one nieskuteczne dla niskich częstotliwości. Często nie można ich też zastosować ze względu na nadmierne zwiększenie wymiarów i masy urządzenia, a także ryzyko przegrzania. Kiedy możliwości metod pasywnych zostają wyczerpane, alternatywnie zastosować można metody aktywne. Skutecznie uzupełniają one metody pasywne w ich najsłabszych punktach—niskim paśmie częstotliwości oraz problemach związanych z odprowadzaniem ciepła.

W klasycznej aktywnej redukcji hałasu stosowane są głośniki i mikrofony w celu osiągnięcia redukcji, jednak w przestrzeni trójwymiarowej często skutkuje to utworzeniem jedynie lokalnych stref ciszy. W przypadku hałasu urządzeń, redukcja globalna jest zdecydowanie bardziej pożądana. W tym celu można zastosować aktywną strukturalną redukcję hałasu, w której stosowane są wzбудniki drgań redukujące samą emisję akustyczną drgającej struktury. W literaturze znane są zastosowania tego podejścia dla pojedynczych barier. Celem niniejszej pracy jest rozszerzenie tego podejścia dla całych obudów urządzeń, dalej nazywając je metodą aktywnej obudowy.

Aby stopniować złożoność rozważanego problemu, początkowo badano ciężką obudowę o sztywnej konstrukcji szkieletowej, która ogranicza sprzężenia pomiędzy ścianami głównie do pola akustycznego. Następnie, rozważono lekką obudowę pozbawioną sztywnej ramy, która charakteryzuje się dodatkowo silnymi sprzężeniami wibracyjnymi. Przedstawione obudowy poddano analizie z punktu widzenia wibroakustyki i metod sterowania.

Wyprowadzono model matematyczny ścian obudowy, który następnie zweryfikowano eksperymentalnie dla szerokiej gamy przypadków. Model ten łączy opis matematyczny wielu zjawisk, które do tej pory w literaturze były rozpatrywane oddzielnie. Obejmują one teorie cienkich i grubych płyt, elastyczne warunki brzegowe, model tłumienia termoelastycznego, i obciążenie płyty dodatkowymi elementami—masami, usztywnieniami, elementami wykonawczymi i pomiarowymi.

Opracowany model wykorzystano dla szeregu różnych problemów optymalizacji. Najpierw dla optymalizacji rozmieszczenia elementów wykonawczych i pomiarowych, bazując na miarach sterowalności i obserwowalności układu. Następnie, zaproponowano metodę kształtowania odpowiedzi częstotliwościowej drgających płyt, którą zweryfikowano zarówno symulacyjnie, jak i eksperymentalnie.

Przedstawione i zbadane obudowy zostały użyte w eksperymentach aktywnej redukcji. Obudowę sztywną zbadano w konfiguracjach ze ścianami jedno- i dwupanelowymi. Różne czujniki zostały wykorzystane, aby pozyskać sygnał błędu. Dla obudowy elastycznej wykorzystano wcześniejsze doświadczenia, aby właściwie skonfigurować obiekt. Osiągnięto wysokie poziomy redukcji, przekraczające 20 dB redukcji globalnej, co potwierdza wysoki potencjał metody do praktycznego zastosowania. Badając efektywność wielu metod sterowania, sformułowano wnioski i rekomendacje pomocne w efektywnej implementacji metody aktywnej obudowy.