

# ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Tomasz Machoczek

## *System sterowania mechatronicznego zawieszenia pojazdu gąsienicowego*

Promotor: Prof. dr hab. inż. Arkadiusz Mężyk prof. zw. w Pol. Śl.



KATEDRA MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ  
WYDZIAŁ MECHANICZNY-TECHNOLOGICZNY  
POLITECHNIKA ŚLĄSKA W GLIWICACH

Gliwice 2013

Rozprawa doktorska pt. „*System sterowania mechatronicznego zawieszenia pojazdu gąsienicowego*” jest propozycją sposobu regulacji charakterystyki pracy zawieszenia pojazdu gąsienicowego wobec zmieniających się warunków trakcyjnych, tj. m.in. geometria podłoża i prędkość jazdy. Autor realizując przyjęty zakres pracy przedstawił istniejący stan problemu dotyczący zagadnienia sterowania zawieszeniem pojazdów oraz zaproponował metodę modelowania pojazdu gąsienicowego opierającą się na bazie układów wieloczłonowych z wykorzystaniem środowiska numerycznego Matlab. Przyjmując stosowne założenia upraszczające opracował model matematyczny pojazdu oraz metody minimalizacji drgań kadłuba analizowanego pojazdu. Rozpatrywanymi przez autora algorytmami sterowania są skyhook typ ciągły i dwustanowy. W pracy zamieszczono również szczegółowy opis realizacji badań poligonowych prowadzonych na pojeździe PT-91 jak również wyniki tych badań. Ponadto w celu zobrazowania skuteczności działania wspomnianych algorytmów sterowania przeprowadzono implementację na stanowisku firmy INTECO tzw. SAS (Semi Active Suspension) lub inaczej, tzw. ćwiartkę samochodu. W ramach eksperymentu związanego z jakością sterowania w stosunku do pracy biernej czyli pasywnej redukcji drgań zaprojektowano i wykonano prototypowe urządzenie (konwerter PWM/DC), którego zadaniem była komunikacja sterownika SAS ze stabilizatorem prądu firmy Lord Corporation tzw. Wonder Box. Autor tej pracy w celu sprawdzenia poprawności działania nowatorskiego konwertera, wykonał badania doświadczalne oraz numeryczne potwierdzające jego funkcjonalność i prawidłowe działanie.

W podsumowaniu działań praktycznych na stanowisku SAS przedstawiono wyniki analizy porównawczej algorytmów sterowania, które opatrzone wnioskami informującymi o dominacji sterowania skyhook typ ciągły nad sterowaniem dwustanowym.

W odniesieniu do przyjętego przez autora rozprawy, fundamentalnego założenia upraszczającego strukturę modelu pojazdu gąsienicowego, które polega na pominięciu oddziaływania gąsienicy, gdyż „...sterowanie, które będzie skuteczne w zawieszeniu pojazdu kołowego, powinno sprawdzić się również w pojeździe gąsienicowym”, wykonano model matematyczny pojazdu wielokołowego (sześciokołowego).

Analizowany w pracy model pojazdu charakteryzuje się trzema stopniami swobody, ruchliwością na kierunku pionowym oraz rotacjami w płaszczyźnie wzdłużnej i poprzecznej. Wyposażony jest w cztery liniowe elementy półaktywnej redukcji drgań umieszczone w skrajnych kolumnach zawieszenia oraz sześć liniowych sprężyn w każdej z kolumn. Model ten wraz z zaimplementowaną procedurą sterowania utworzono z wykorzystaniem narzędzia Matlab Simulink, a następnie poddano szczegółowej analizie numerycznej, w której

wymuszeniem kinematycznym była funkcja sinus z przesunięciem fazowym oraz funkcja chirp przyłożona do jednej i dwóch wybranych kolumn zawieszenia.

Algorytmem sterowania wykorzystanym w zawieszeniu tego modelu pojazdu jest skyhook typ dwustanowy (klasyczny) i ciągły. Metoda sterowania ciągłego, którą przedstawiono w niniejszej rozprawie doktorskiej polega na wprowadzeniu fikcyjnych tłumików dla poszczególnych stopni swobody, pomiędzy masę resorowaną i układ inercjalny oraz założeniu tłumienia krytycznego dla ruchu masy resorowanej, a następnie wyznaczeniu współczynników tłumienia dla poszczególnych tłumików.

W wyniku przeprowadzonej analizy drgań pojazdu wielokołowego zaobserwowano poprawę jakości stabilizacji masy resorowanej przy udziale sterowania skyhook typ ciągły w stosunku do tłumienia pasywnego. Poprawa ta dotyczy zarówno przemieszczenia pionowego w funkcji czasu jak również prędkości i przyspieszenia.

W dalszej części pracy zaproponowano schemat modelowania systemu sterowania mechatronicznego zawieszenia pojazdu gaśienicowego, który polega na przekształceniu modelu fizycznego reprezentującego obiekt rzeczywisty do postaci modelu uproszczonego (bez gaśienicy), a następnie wprowadzeniu parametrów tego modelu do algorytmu sterowania i w wyniku sprzężenia zwrotnego pochodzącego od algorytmu sterowania, w postaci informacji o wartościach współczynnika tłumienia, do modelu fizycznego.

Następnie przedstawiono wybrane koncepcje zabudowy czujników wykorzystywanych w proponowanych mechatronicznych zawieszeniach pojazdów gaśienicowych.

W niniejszej pracy przedstawiono również kierunki dalszych prac rozwojowych, w ramach których autor planuje fizyczne wdrożenie proponowanych powyżej algorytmów sterowania zawieszeniem, a w szczególności sterowania zawieszeniem prototypowego pojazdu gaśienicowego powstającego w ramach prac studenckiego koła naukowego Szybkobieżnych Pojazdów Gaśienicowych.

Podsumowaniem rozprawy doktorskiej są wnioski końcowe, jednoznacznie określające skuteczność zaproponowanych algorytmów sterowania dla zawieszenia pojazdu wielokołowego, a w szczególności pojazdu gaśienicowego. Wybór metody sterowania mechatronicznym układem zawieszenia pojazdu gaśienicowego, według autora jest podyktowany prostotą i skutecznością działania.

Niniejsza praca bazuje na 155 pozycjach literaturowych. Zawiera szczegółowy wykaz oznaczeń stosowanych w zapisie matematycznym oraz spis ilustracji i tabel wykorzystanych w treści pracy.

*Praca naukowa realizowana w ramach umowy 2/D/2012 oraz finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2011 – 2013 jako projekt badawczy o numerze N N509 562140.*