



Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Krzysztofa Koguta
„Real-time control in automotive systems”

przygotowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie działającego na podstawie uchwały Rady Wydziału z dnia 29. 06. 2017.

PROBLEMATYKA PRACY

Praca dotyczy systemów automatyki motoryzacyjnej. Autor dokonał obszernego przeglądu aktualnych rozwiązań i skupił się na dwóch ważnych układach: (1) półaktywnym układzie zawieszenia (*Semi Active Suspension* - SAS) oraz (2) układzie zapobiegania blokowaniu kół podczas hamowania (*Anti-Lock Braking System* – ABS). W pierwszym przypadku wykorzystuje się magnetoreologiczne tłumiki drgań, których siły oporu są zmieniane przez natężenie pola magnetycznego za pośrednictwem prądów w uzwojeniach sterujących. Drugi układ zapobiega utracie sterowności pojazdu podczas hamowania, kontrolując obroty kół i zmniejszając siły hamowania kół obracających się wolniej niż pozostałe.

Układy sterowania SAS i ABS są obecnie układami cyfrowymi należącymi do najważniejszych dla bezpieczeństwa i komfortu jazdy. Zastosowanie technik komputerowych stwarza potencjalną możliwość doskonalenia algorytmów ich działania. Ważne jest więc poznawanie szczegółów projektowania takich układów drogą modelowania i symulacji, przede wszystkim powiązanych z badaniami i weryfikacją rozwiązań na obiektach rzeczywistych. Z tym nurtem związana jest recenzowana praca. Autor wykorzystał dwa stanowiska badawcze (SAS i ABS) odzwierciedlające układy związane z pojedynczym kołem pojazdu, wyposażone w odpowiednie urządzenia pomiarowe i wykonawcze oraz środowisko programowe do eksperymentowania w czasie rzeczywistym. Przeprowadzone badania dotyczą identyfikacji parametrów modeli oraz syntezy i weryfikacji algorytmów sterowania i mieszczą się w obszarze **automatyki i robotyki**.

UKŁAD PRACY

Rozprawa napisana w języku angielskim ma 173 strony i składa się z siedmiu rozdziałów oraz wstępu, podsumowania, bibliografii, streszczeń angielskiego i polskiego.

We wprowadzeniu przedstawiono cel pracy, polegający na przedstawieniu szczegółów projektowania nowoczesnych układów czasu rzeczywistego SAS i ABS z naciskiem na syntezę i weryfikację rozwiązań na podstawie eksperymentów z laboratoryjnymi obiektami, tezę: „**Systemy automatyki samochodowej działające w czasie rzeczywistym poprawiają bezpieczeństwo i komfort jazdy**” oraz zwięzły przegląd zawartości rozprawy.

Rozdział pierwszy „*Systemy automatyki samochodowej*” zawiera ogólną charakterystykę automatyki motoryzacyjnej. Przedstawiono krótko systemy sieciowe odpowiadające za układ napędowy, systemy aktywnego i pasywnego bezpieczeństwa, komfortu jazdy, komunikacyjne i rozrywkowe.

Rozdział 2. „*Projektowanie, implementacja i weryfikacja systemów automatyki samochodowej*” opisuje model V (definiujący i opisujący kroki składające się na proces tworzenia wbudowanych systemów automatyki samochodowej), metody MBD (Model Based Design/Development), MBT (Model Based Testing) oraz zestawy narzędzi sprzętowych, programowych i symulacyjnych stosowane w projektowaniu i testowaniu systemów automatyki motoryzacyjnej.

Rozdział 3. „*Systemy czasu rzeczywistego*” poświęcono zagadnieniom dotyczącym systemów czasu rzeczywistego w technice samochodowej oraz przedstawiono wykorzystane w pracy stanowiska laboratoryjne przeznaczone do szybkiego prototypowania układów SAS i ABS.

Rozdział 4. „*Półaktywne układy zawieszenia*” przedstawia technologie tłumików aktywnych i półaktywnych w układach zawieszenia pojazdów, metody modelowania samochodowych układów zawieszenia oraz przegląd literatury dotyczący algorytmów sterowania tłumikami magnetoreologicznymi (MR).

Rozdział 5. „*Laboratoryjny system SAS*” jest pierwszym z dwóch najważniejszych rozdziałów pracy. Przedstawia obiekt, który stanowił przedmiot badań. Omawia identyfikację parametrów jego modelu matematycznego oraz wyniki badań zaproponowanych algorytmów sterowania tłumikiem MR.

Rozdział 6. „*Samochodowe systemy hamowania*” omawia działanie systemu ABS, wykorzystywane modele dynamiki oraz przegląd literatury dotyczącej konwencjonalnych i bardziej zaawansowanych algorytmów kontroli poślizgu.

Rozdział 7. „*Laboratoryjny system ABS*” jest drugim najważniejszym rozdziałem pracy. Przedstawia wyniki identyfikacji parametrów matematycznego modelu układu oraz testów algorytmów kontroli poślizgu, w tym zaproponowanego nowego algorytmu wykorzystującego pomiar prądu silnika sterującego hamulcem.

Na końcu zamieszczono podsumowanie pracy oraz propozycje kierunków dalszych badań.

Wykaz literatury obejmuje 219 reprezentatywnych pozycji, w tym siedem współautorskich publikacji Autora pracy.

OCENA PRACY

Mocne strony

(1) Tematyka pracy jest ważna i aktualna.

(2) Problem naukowy wynikający z postawionego celu pracy został sformułowany jasno i trafnie.

(3) Rozważania teoretyczne i badania symulacyjne zweryfikowano na podstawie eksperymentów z laboratoryjnymi układami (1) SAS, (2) ABS.

W szczególności na uwagę zasługują następujące elementy stanowiące istotny wkład Autora:

1.1 przeprowadzenie identyfikacji parametrów modelu zawieszenia,

1.2 przeprowadzenie identyfikacji modelu mimośrodowego,

- 1.3 wprowadzenie i identyfikacja dynamicznego modelu Bouc-Wena z histerezą tłumika MR,
- 1.4 przeprowadzenie eksperymentów ze sterowaniem tłumikiem MR z wykorzystaniem strategii (i) skyhook on-off, (ii) skyhook ciągłej, (iii) balance on-off,
- 1.5 udoskonalenie sterowania z ciągłą strategią skyhook przez zaprojektowanie i przebadanie neuronowego obserwatora prędkości kątowych,
- 2.1 przeprowadzenie identyfikacji układów kół,
- 2.2 wyznaczenie krzywej zależności tarcia od poślizgu oraz krzywej siły hamowania,
- 2.3 przebadanie powtarzalności momentu hamowania, propozycja i przebadanie nowego regulatora poślizgu wykorzystującego pomiar prądu silnika sterującego hamulcem.

(4) Autor osiągnął założony cel, polegający na przedstawieniu szczegółów projektowania nowoczesnych układów SAS i ABS z naciskiem na syntezę i weryfikację rozwiązań na podstawie eksperymentów z rzeczywistymi obiektami, opanował niezbędne podstawy teoretyczne i pokazał umiejętność ich zastosowania do samodzielnego rozwiązywania zagadnień badawczych.

(5) Wyniki przeprowadzonych badań były przedmiotem publikacji w materiałach konferencji SCR, KKA, MMAR i w półroczniku AGH *Automatyka*.

(6) Praca została poprawnie zredagowana. Upoważnia to do stwierdzenia, że Autor opanował warsztat pisania rozpraw naukowych.

(7) Prawidłowo dobrane, liczne odnośniki literaturowe wskazują, że Autor posiada niezbędną orientację w bibliografii podejmowanych przez siebie zagadnień.

Komentarze i zagadnienia do dyskusji

- (a) Zastosowaniom zaawansowanych algorytmów sterowania sprzyja rosnąca dostępność nowoczesnych czujników. Jak Autor postrzega możliwość i zasadność modyfikacji układów SAS związanej z użyciem akcelerometrów?
- (b) Przeprowadzone w pracy badania dotyczyły modeli „z pojedynczym kołem”. W planach dalszych prac Autor nie wspomniał wyraźnie o powiązaniu rozproszonych układów SAS czy ABS. Jak dziś można ocenić perspektywę takiego podejścia?
- (c) Praca zawiera rys historyczny. W tym kontekście interesująca może być polska książka M. Konopińskiego „*Elektronika w technice motoryzacyjnej*”, WKŁ 1987. Nowsze zagadnienia *Active Safety* są przedstawione m. in. w IEEE Control Systems Magazine 30, (4), 2010.

PODSUMOWANIE

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Krzysztofa Koguta **spełnia** wymagania obowiązującej Ustawy z 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Wnioskuje do Wysockiej Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie Autora do publicznej obrony.

Tawian Wysocki