



Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej



Autoreferat Rozprawy Doktorskiej

Krzysztof Kogut

Real-time control in automotive systems

Kraków, 2017

Promotor

prof. dr hab. inż. Andrzej Turnau
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Katedra Automatyki i Inżynierii Biomedycznej
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Tematyka oraz cel pracy doktorskiej

Przedmiotem rozprawy doktorskiej są zagadnienia i metody sterowania w czasie rzeczywistym w systemach automatyki samochodowej. W pracy przedstawiono obszerny przegląd obecnych technologii, systemów i metod wykorzystywanych w czasie projektowania automatycznych systemów sterowania w pojazdach.

Autor sformułował i postawił sobie za zadanie udowodnienie następującej tezy:

Systemy automatyki samochodowej działające w czasie rzeczywistym poprawiają bezpieczeństwo i komfort jazdy.

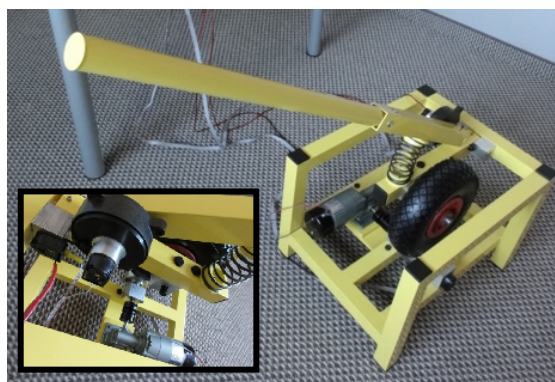
Celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie i weryfikacja algorytmów sterowania w układach pół-aktywnego zawieszenia wykorzystujących tłumiki magnetoreologiczne (MR) i układach kontroli poślizgu (ABS) działających w czasie rzeczywistym oraz identyfikacja parametrów modeli dynamicznych wykorzystywanych systemów. Do przeprowadzenia eksperymentów w czasie rzeczywistym wykorzystano dwa laboratoryjne systemy SAS (rysunek 1a) i ABS (rysunek 1b).

Architektura systemu sterowania, pełniąca rolę środowiska do szybkiego prototypowania algorytmów regulacji została przedstawiona na rysunku 2. Realizacja układu sterowania w czasie rzeczywistym odbywa się na komputerze klasy PC w środowisku MATLAB/Simulink. Karta kontrolno-pomiarowa RT-DAC/USB2 odpowiada za pomiar pozycji enkoderów i sterowanie PWM urządzeniami wykonawczymi systemów SAS i ABS.

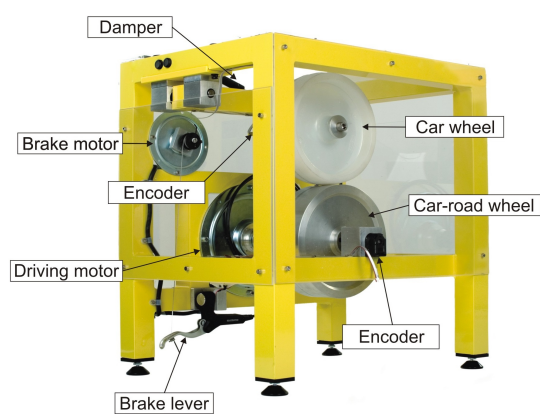
System SAS, którego diagram przedstawiono na rysunku 3, składa się z następujących elementów:

1. obrotowe dolne ramie zawieszenia,
2. obrotowe górne ramie zawieszenia,
3. tłumik MR zawieszenia (RD-2087-1),
4. sprężyna zawieszenia,
5. gumowa opona koła,
6. felga koła,
7. mimośród napędzany silnikiem DC.

Dostępne pomiary pochodzące z enkoderów to kąt obrotu mimośrodu α_0 , kąt obrotu pomiędzy dolnym ramieniem a mocowaniem α_1 oraz kąt obrotu pomiędzy górnym ramieniem a dolnym ramieniem α_2 . Układ sterowany jest poprzez dwa sygnały PWM:

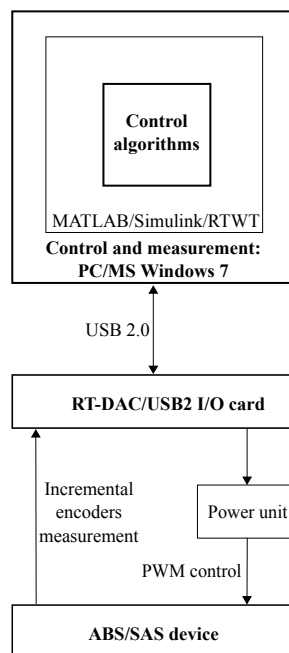


(a) System SAS.

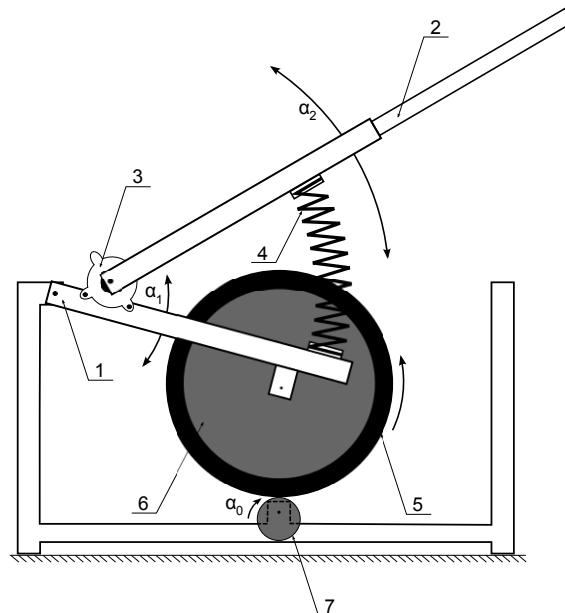


(b) System ABS.

Rysunek 1: Laboratoryjne systemy. Źródło: <http://inteco.com.pl>



Rysunek 2: Schemat układu sterowania systemami SAS i ABS.



Rysunek 3: Diagram układu SAS.

silnika DC mimośrodowo (w celu wzbudzenia drgań) oraz prądu cewki tłumika MR. Okres próbkowania to 0.01 s.

W systemie ABS zamontowane enkodery służą do pomiaru kątów obrotu górnego i dolnego koła, a sterowanie systemem odbywa się za pomocą dwóch silników DC. Pierwszy z nich odpowiada za regulację hamulca górnego koła, a drugi podłączony jest do dolnego koła w celu rozpędzenie systemu do zadanych prędkości obrotowych. Okres próbkowania w tym systemie to również 0.01 s.

Struktura pracy

W pierwszej części pracy zawarto ogólny opis branży automatyki samochodowej. Przedstawiono historie rozwoju przemysłu samochodowego oraz ewolucję najważniejszych systemów elektrycznych i elektronicznych pojazdów. Zaprezentowano również szerokie spektrum systemów spotykanych w dzisiejszych samochodach. W obecnych pojazdach system elektronicznych sterowników tworzy rozbudowaną sieć mikrokontrolerów odpowiadających za: układ napędowy, systemy aktywnego i pasywnego bezpieczeństwa, systemy komfortu jazdy oraz systemy komunikacyjne i rozrywkowe.

W następnej kolejności przedstawiono procesy i fazy projektowania, implementacji i weryfikacji wymienionych komponentów. W szczególności opisano kompletny proces modelu V oraz pozostałe metody i metodologie mające zastosowanie podczas rozwoju systemów automatyki samochodowej takie jak MBD (ang. Model Based Design / Development) oraz MBT (ang. Model Based Testing). Zaprezentowano zestawy narzędzi sprzętowych, programowych i symulacyjnych wykorzystywanych do projektowania, implementacji czy testowania rozwijanych systemów. Następnie przedstawiono zagadnienie systemów czasu rzeczywistego oraz ich realizacji w systemach automatyki samochodowej. Na koniec tej części pracy zaproponowano demonstracyjne systemy SAS i ABS do celów szybkiego prototypowania algorytmów czasu rzeczywistego i jako narzędzie do eksperymentalnej weryfikacji wydajności sterowania.

Część druga rozprawy skupia się w szczególności na systemach półaktywnego zawieszenia pojazdów. Przedstawiono technologie tłumików zarówno aktywnych jak i półaktywnych oraz ich zastosowanie w układach zawieszenia pojazdów. Następnie przeprowadzono przegląd metod modelowania i modeli samochodowego układu zawieszenia, w tym tłumików, opon i drogi. Ponadto, rozważono ocenę jakości komfortu i bezpieczeństwa jazdy na przykładzie modelu ćwiartki zawieszenia pojazdu oraz przedstawiono przegląd literatury dotyczący algorytmów sterowania tłumików magnetoreologicznych (MR) w celu tłumienia drgań. W następnej kolejności zaprezentowano laboratoryjny system SAS (ang. Semi-Active Suspension) z półaktywnym tłumikiem magnetoreologicznym wraz z modelem matematycznym oraz przeprowadzono eksperymentalną identyfikację parametrów systemu. Następnie przedstawiono wyniki badań skuteczności i wydajności działania

zaimplementowanych algorytmów sterowania tłumikiem MR w czasie rzeczywistym.

W trzeciej części pracy podjęto tematykę samochodowych systemów hamulcowych. Zaprezentowano układ ABS (ang. Anti-Lock Braking System) oraz opisano jego zadania i funkcjonalności. Podobnie jak w części drugiej rozprawy, przedstawiono szereg modeli wykorzystywanych do opisu dynamiki hamującego pojazdu, w tym dynamiki oddziaływania opona-droga, tarcia oraz samego hamulca. Następnie przeprowadzono przegląd literatury dotyczącej zarówno konwencjonalnych (regulowych) sterowników ABS, jak i złożonych algorytmów kontroli poślizgu. Na koniec tej części pracy przeprowadzono eksperymenty z wykorzystaniem demonstracyjnego systemu ABS. Analogicznie jak w przypadku systemu SAS, przeprowadzono identyfikację parametrów modelu matematycznego układu. Następnie przeprowadzono testy algorytmów kontroli poślizgu i opracowano nowy sterownik wykorzystujący dodany pomiar prądu silnika sterującego hamulcem w systemie.

Na koniec przedstawiono podsumowanie rozprawy oraz zaproponowano dalsze możliwe kierunki badań.

Najważniejsze oryginalne wyniki badawcze

Autor rozprawy za najważniejsze oryginalne wyniki badawcze uważa:

1. Eksperymentalna identyfikacja parametrów modelu matematycznego układu SAS (sekcja 5.2.1 oraz 5.2.2).
2. Identyfikacja dynamicznego modelu Bouc-Wena dla tłumika MR systemu SAS w celu poprawy zgodności modelu matematycznego systemu (sekcja 5.2.3).
3. Implementacja oraz analiza wydajności zaimplementowanych algorytmów sterowania tłumikiem MR w systemie SAS w czasie rzeczywistym (sekcja 5.3).
4. Zaprojektowanie i implementacja obserwatora prędkości kątowych systemu SAS w celu udoskonalenia sterowania tłumikiem MR w czasie rzeczywistym z ciągłą strategią skyhook (sekcja 5.3).
5. Eksperymentalna identyfikacja parametrów modelu matematycznego systemu ABS (sekcja 7.2).
6. Przeprowadzenie testów sterowania poślizgiem w systemie ABS i analiza problemów związanych z powtarzalnością wyników sterowania w czasie rzeczywistym (sekcja 7.3.1).
7. Wprowadzenie i implementacja nowego sterownika poślizgu wykorzystującego dodatkowy sygnał pomiarowy w postaci prądu silnika sterującego hamulcem w systemie ABS (sekcja 7.3.2).