

STANOWISKOWY SYMULATOR UKŁADU HAMULCOWEGO Z FUNKCJĄ SYSTEMU ABS

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono zbudowane przez studentów Politechniki Opolskiej w ramach realizacji prac dyplomowych stanowisko symulatora układu hamulcowego wyposażonego w system przeciwblokowania kół. Opisano niezbędny system pomiarowo-rejestrujący wykorzystywany w trakcie prób na symulatorze. W artykule zamieszczono przykładowe wyniki przeprowadzonych prób.

WSTĘP

Zasada działania układów wspomagających bezpieczeństwo czynne pojazdu jest skomplikowana, a na jego budowę składają się elementy z kilku dziedzin wiedzy. Podstawą są urządzenia mechaniczne, przy czym ich praca coraz częściej jest wspomagana przez elementy elektroniczne sterowane za pomocą specjalnie zaprogramowanego sterownika. W przypadku układu hamulcowego z funkcją systemu ABS możemy mówić o rozległych układach mechatronicznych. W układzie tym współdziałają ze sobą elementy mechaniczne, hydrauliczne oraz elektroniczne. Poznanie zasady działania tak skomplikowanych mechanizmów, szczególnie podczas zajęć dydaktycznych, jest niezwykle trudne. Zarówno prowadzący zajęcia jak i słuchacze muszą włożyć dużo wysiłku, aby zrozumieć działanie omawianych systemów. Dlatego zajęcia dydaktyczne danego przedmiotu zazwyczaj podzielone są na bloki, gdzie słuchacz poznaje część teoretyczną na wykładzie, a praktyczną np. na zajęciach laboratoryjnych. O ile przekazanie informacji teoretycznie nie stanowi większego problemu, to na zajęciach praktycznych wymagany jest już wybrany obiekt lub stanowisko badawcze. W niniejszym artykule przedstawiono stanowisko symulacyjne układu hamulcowego wyposażonego w system ABS, rysunek 1. Stanowisko to zbudowane zostało od podstaw przez studentów Politechniki Opolskiej w ramach prac dyplomowych prowadzonych pod nadzorem promotorów [1, 2, 3].

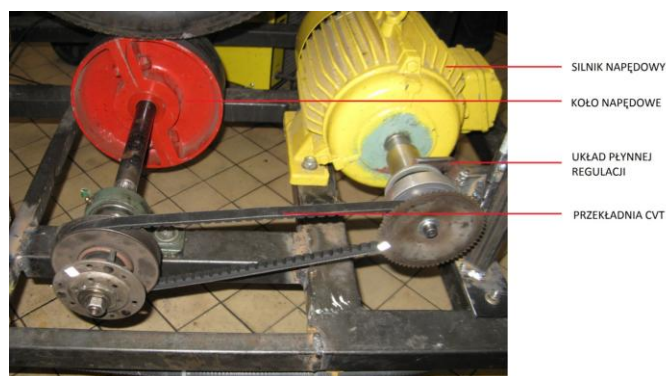


Rys. 1. Stanowisko symulatora układu hamulcowego wykonany w ramach prac dyplomowych

1. STANOWISKO SYMULATORA

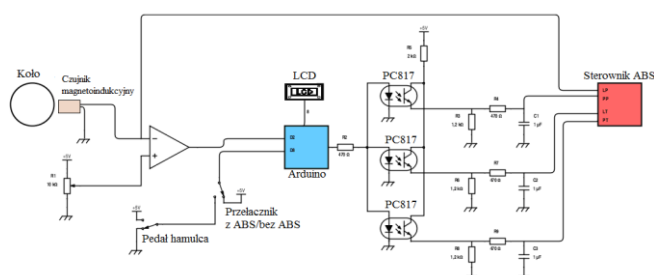
Symulator układu hamulcowego został zbudowany na bazie podzespołów popularnego pojazdu osobowego oraz w oparciu o

rozpoznanie literaturowe [4, 5, 6]. W skład części pozyskanych z pojazdu wchodzi między innymi: sterownik układu ABS, pompa hamulcowa z układem wspomagania, pompa systemu ABS oraz piasta koła z zaciskiem hamulcowym i czujnikiem prędkości obrotowej koła. Podzespoły te zamontowane zostały na zaprojektowanej na potrzeby stanowiska ramie. Koło pojazdu obraca się na bębnie stalowym o średnicy 280 mm napędzanym za pomocą silnika elektrycznego o stałej prędkości obrotowej. W stanowisku zastosowano dodatkowo przekładnię CVT. Takie rozwiązanie ma dwie zalety. Po pierwsze daje możliwość płynnej regulacji prędkości obrotowej koła, gdzie w omawianym stanowisku uzyskano zmienną prędkość obrotową koła odpowiadającą prędkości pojazdu w zakresie od 10 do 60 km/h. Przełożenie przekładni CVT jest zmieniane przez zmianę promienia na którym znajduje się pasek w przekładni tj. zmianę kąta opasania pasa na kole czynnym przekładni. Zmianę przełożenia dokonuje się za pomocą śruby regulacyjnej oddziałującej na dźwignię połączoną z łożyskiem oporowym. Dodatkowym atutem wykorzystania takiej przekładni w symulatorze jest również możliwość omówienia i pokazania studentom na zajęciach zasady działania przekładni bezstopniowej CVT. Zdjęcie układu napędowego z przekładnią przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Układ napędowy symulatora [1]

W symulatorze ze względu na ograniczenia wymiarowe stanowiska oraz ze względów bezpieczeństwa wykorzystano tylko jedno obracające się koło pojazdu, za pomocą którego będzie badany układ hamulcowy z systemem ABS. Pozostałe trzy sygnały z czujników prędkości obrotowej poszczególnych kół są symulowane za pomocą mikrokontrolera ARDUINO. Schemat połączeniowy sterownika symulatora przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat sterownika symulatora

Takie rozwiązanie również przynosi szereg korzyści, takich jak uproszczenie układu napędowego oraz zmniejszenie wymiarów stanowiska. Dodatkowo uzyskano możliwość wprowadzania wstępnego poślizgu (różnicy prędkości obrotowych pomiędzy kołem napędzanym a kołami symulowanymi). Sygnały symulowane są przez mikrokontroler Arduino w oparciu o „nasłuchiwanie” sygnał czujnika obracającego się koła. Sygnał ten jest równocześnie przekazywany do sterownika układu ABS. W oparciu o odbierany sygnał prędkości obrotowej napędzanego koła, mikrokontroler dostraja się i generuje przebieg prostokątny będący w fazie z sygnałem odbieranym, symulując w ten sposób ruch obrotowy pozostałych trzech kół. Dzieje się tak do momentu wciśnięcia pedału hamulca symulatora. Zamocowany na pedale czujnik, przekazuje informację o naciśnięciu do mikrokontrolera symulatora. Od momentu naciśnięcia i aż do momentu zwolnienia pedału układ generuje sygnał odpowiadający prędkości obrotowej tuż przed uruchomieniem hamulca. W ten sposób symuluje się stałą prędkość trzech kół jezdnych, a faktyczna prędkość koła napędzanego zależna jest o siły nacisku na pedał hamulca w wyniku której wzrasta siła zacisku na tarczy hamulcowej i następuje hamowanie koła napędzanego. Gdy sterownik układu ABS wykryje rozbieżne prędkości poszczególnych kół w momencie hamowania zaczyna ingerować w obwód hydrauliczny koła hamowanego, zmniejszając ciśnienie płynu, a tym samym zmniejszając siłę nacisku na tarczę hamulcową. Obie prędkości obrotowe (symulowana i odczytywana z czujnika prędkości obrotowej koła) są na bieżąco wyświetlane na wyświetlaczu LCD zamontowanym na panelu przyłączeniowym symulatora (rysunek 4).



Rys. 4. Panel przyłączeniowy symulatora z wyświetlaczem LCD [1]

Wszystkie sygnały potrzebne do analizy działania systemu ABS wyprowadzono na zewnątrz mikrokontrolera symulatora, tak by w trakcie badania układu można było rejestrować wszelkie zachodzące zmiany w układzie za pomocą karty pomiarowej lub oscyloskopu. Tablicę przyłączeniową przedstawiono na rysunku 4. Numerem 1 na tym rysunku oznaczono punkt pomiarowy sygnału pocho-

dzącego z czujnika magnetoindukcyjnego prędkości obrotowej koła. Numerem 2 oznaczono złącze dotyczące tego samego sygnału, ale poddanego wstępnej obróbce – po przejściu przez komparator. Sygnał ten podawany jest na jedno z wejść mikrokontrolera Arduino i w oparciu o jego przebieg generowane są sygnały pozostałych kół. Złącze 3 to wspólna masa sygnałowa całego symulatora. Sygnał z przetwornika ciśnienia oraz czujnika naciśnięcia pedału hamulca dostępne są odpowiednio pod numerami złącz 4 i 5. Symulowany przez Arduino sygnał prędkości obrotowej pozostałych kół dostępny jest w punkcie 6. Dodatkowo w układzie zastosowano przełącznik dwustanowy pozwalający na pracę symulatora układu hamulcowego z układem ABS oraz bez niego. Dzięki temu istnieje możliwość bezpośredniego porównania ciśnienia (a po przeliczeniu i siły na zacisku) w układzie hamulcowym przy tych samych wymuszeniach zadanych na pedale hamulcowym dla układu hamulcowego pracującego z i bez systemu ABS.

Dodatkowo w symulatorze zastosowano przetwornik ciśnienia (rysunek 5) pozwalający odczytywać on-line za pomocą karty pomiarowej zmiany ciśnienia w obwodzie koła hamowanego. Do tego celu wykorzystano przetwornik ciśnienia firmy WIKA serii A-10 o wyjściu napięciowym 0 do 10V i zakresie pomiarowym od 0 do 250 bar.

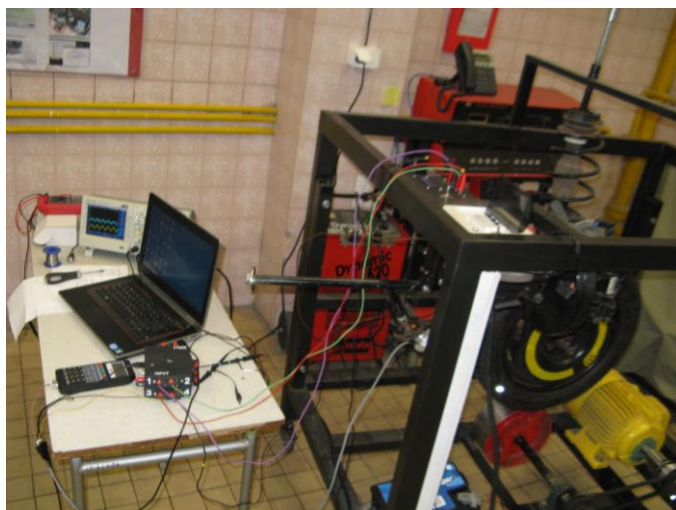


Rys. 5. Przetwornik ciśnienia zamontowany w układzie

2. PRZYRZĄDY POMIAROWE

Układ hamulcowy z systemem ABS jest obiektem dynamicznym i nieliniowym, stąd do obserwacji zjawisk zachodzących w trakcie jego pracy konieczne jest wykorzystanie systemów rejestrujących. Wykorzystywane w systemie ABS elektrozawory pracują z częstotliwością kilku do kilkudziesięciu herców, stąd obserwacja on-line bieżących parametrów jest bardzo trudna, a czasami nawet niemożliwa. Zarejestrowane dane, np. za pomocą karty pomiarowej podłączonej do komputera PC, można w łatwy sposób analizować po dokonaniu prób stanowiskowych, tzw. analizie off-line.

W przeprowadzonych badaniach do rejestracji wszystkich dostępnych sygnałów pomiarowych wykorzystano kartę pomiarową USB-1208fs i komputer klasy PC (rysunek 6).



Rys. 6. Stanowisko badawcze wraz z aparaturą pomiarową [1]

Pomiaru siły nacisku na pedał hamulca dokonano za pomocą czujnika tensometrycznego podłączonego do testera firmy MAHA, powszechnie wykorzystywanego na stacjach diagnostycznych. Sygnał z omawianego czujnika również był rejestrowany za pomocą już wcześniej wspomnianej karty pomiarowej.

3. PRÓBY STANOWISKOWE

Symulator układu hamulcowego został tak zbudowany by można zadawać zarówno stałą siłę nacisku na pedał hamulcowy, jak i aby można przeprowadzać próby dla wywieranej zmiennej siły. Wymuszenia stałe zadawane są za pomocą zawieszania odpowiednich ciężarków na ramię naciskające na pedał hamulcowy. Wywieraną w ten sposób siłę nacisku można mierzyć za pomocą wcześniej opisanego czujnika tensometrycznego lub obliczyć za pomocą prostych zależności matematycznych. Zadawanie stałego (wybranego) wymuszenia daje możliwość porównania sposobu działania układu hamulcowego wyposażonego w układ przeciwblokujący koła i bez tego systemu przy tych samych warunkach początkowych i wymuszeniach. Dzięki zastosowaniu przetwornika ciśnienia w układzie hydraulicznym istnieje możliwość porównywania siły jakie oddziałują na tarczę hamulcową podczas wybranych prób stanowiskowych.

$$F = p \cdot \pi \cdot r^2 \quad (1)$$

gdzie:

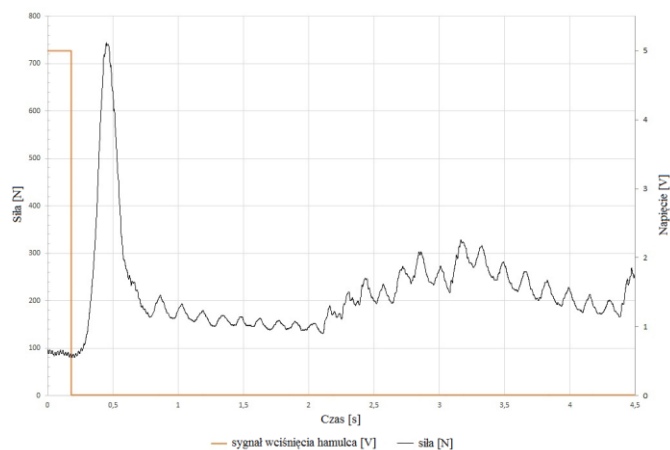
- F - siła [N],
- p - ciśnienie [Pa],
- r - promień tłoka zacisku [m].



Rys. 7. Tłok zacisku hamulcowego o średnicy $\phi 54\text{mm}$

W ramach testów prowadzonych na symulatorze można przeprowadzać próby dla zadawanych różnych prędkości obrotowych koła, różnych sił wywieranych na pedał hamulcowy oraz z załączonym i wyłączonym systemem ABS. Istnieje również możliwość przeprowadzenia badania skuteczności wspomaganie układu hamulcowego, poprzez podłączenie zewnętrznego źródła podciśnienia, np. ręcznej pompki podciśnienia. Przy stałych wymuszeniach zadawanych na pedał obserwuje się ciśnienie w układzie dla różnych wartości zadanych podciśnienia we wspomaganie.

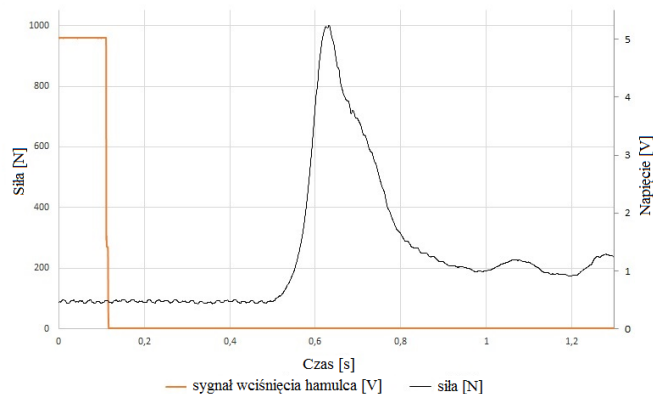
Rysunek 8 przedstawia wyniki pomiaru siły na zacisku klocka hamulcowego. Przebieg tej próby zakładał obciążenie pedału hamulca siłą 290 N oraz aktywnego systemu ABS. Wartość prędkości wyjściowej koła wynosiła 58 km/h.



Rys. 8. Przebieg siły nacisku klocka hamulcowego na tarczę hamulcową, przy prędkości obrotowej koła 58 km/h oraz przy zadanej sile 290 N. Próba dla aktywnego systemu ABS [1]

Na powyższym wykresie (rysunek 8) można zauważyć nagły wzrost siły na zacisku klocka hamulcowego do wartości 750 N, następnie znaczny spadek w granicach 150N oraz charakterystyczne tętnienie ciśnienia w układzie hydraulicznym, a więc i zmienną siłę działającą na zacisk hamulcowy spowodowaną działaniem układu ABS. Wyraźnie widać, że system ABS nie pozwala na zablokowanie koła.

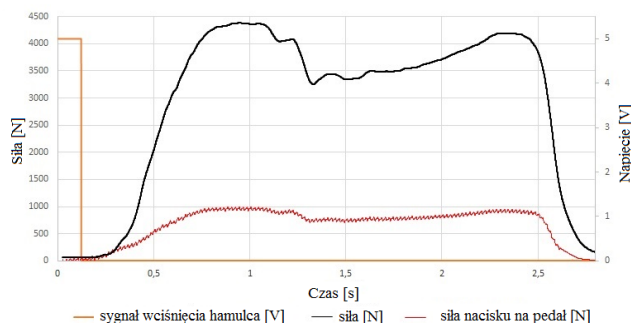
Kolejna próba została wykonana dla obciążenia pedału hamulca również siłą 290 N, jednakże dla wyłączonego systemu przeciwblokującego koła. Wartość prędkości wyjściowej wynosiła 58 km/h.



Rys. 9. Przebieg siły nacisku klocka hamulcowego na tarczę hamulcową, przy prędkości koła 58 km/h oraz zadanej sile 290 N. Próba dla wyłączonego systemu ABS [1].

Na wykresie widać nagły wzrost siły na zacisku klocka hamulcowego do wartości 1000 N. Dla tak dużej wartości siły koło zostało natychmiast zablokowane, nie widać natomiast na zarejestrowanym cyklu tętnień w obwodzie hydraulicznym, a więc brak jest reakcji systemu ABS na tak duże wymuszenie.

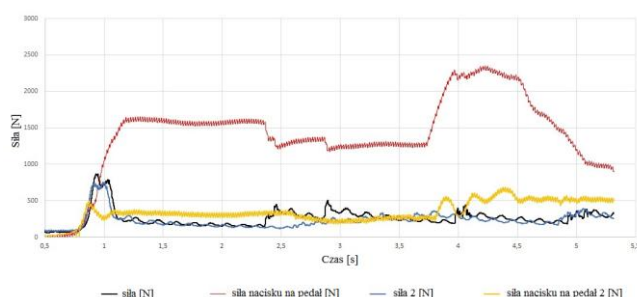
Kolejne próby zostały wykonane dla pełnego wciśnięcia pedału hamulcowego, symulując nagłe, awaryjne hamowanie.



Rys. 10. Przebieg siły nacisku klocka hamulcowego na tarczę hamulcową w czasie, przy prędkości koła 55 km/h oraz gwałtownym nacisku dla pełnego wciśnięcia pedału hamulca. Pomiar z dezaktywowanym systemem ABS [1].

Na rysunku 10 można zauważyć znaczny wzrost siły wywieranej na zacisk układu hamulcowego, a tym samym nastąpiło natychmiastowe zablokowanie koła. Próby dla tych samych warunków zostały również przeprowadzone dla aktywnego systemu ABS (rysunek 11 oznaczony jako siła 1).

Kolejny wykres (rysunek 11) przedstawia zestawienie umożliwiający porównanie dwóch przypadków procesu hamowania: gwałtowne pełne naciśnięcie pedału hamulca oraz nacisk z zadaną siłą o wartości 290N.



Rys. 8. Przebieg siły nacisku klocka hamulcowego na tarczę hamulcową, przy prędkości koła 55 km/h w dwóch przypadkach: z gwałtownym pełnym naciskiem pedału hamulca oraz z zadaną siłą o wartości 290N. Pomiar z aktywnym systemem ABS [1].

Na powyższym rysunku można zaobserwować, że przy nawet bardzo dużej sile nacisku na pedał hamulca system ABS nie pozwala na całkowite zablokowanie koła. Przebiegi oddziaływania siły na zacisk hamulcowy są do siebie bardzo zbliżone pomimo znacznej różnicy sił nacisku wywieranych na pedał. System ABS steruje maksymalną siłą z jaką oddziałuje na tarczę hamulcową, nie pozwalając tym samym na zablokowanie koła.

PODSUMOWANIE

Przedstawiony w niniejszej publikacji symulator układu hamulcowego z systemem przeciwblokującym koła stanowi bazę dydaktyczną dzięki której można w łatwy sposób poznać działanie układów hamulcowych z dodatkowymi systemami wspomagającymi.

Analiza zarejestrowanych w trakcie prób wyników pozwala w jeszcze lepszy i dokładniejszy sposób zaobserwować, co dzieje się w układzie hamulcowym w trakcie hamowania. Podczas przeprowadzonych prób zauważono jednak, że przydatnym sygnałem, który należałoby jeszcze wyodrębnić i udostępnić do obserwacji, jest sygnał aktualnej prędkości poruszającego się koła. Sygnał ten wyprowadzony w postaci analogowej można by rejestrować również za pomocą systemu pomiarowego. Dzięki tej informacji użytkownik stanowiska miałby jeszcze więcej informacji dotyczących przebiegu procesu hamowania oraz towarzyszącemu mu przebiegom poszczególnych parametrów pracy układu hamulcowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Królikiewicz J., *Analiza przebiegu sił hamowania na symulatorze układu hamulcowego*, praca dyplomowa magisterska, Politechnika Opolska, 2015
2. Suliga M., *Projekt i wykonanie ramy dla stanowiskowego symulatora układu ABS*, praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Opolska 2013
3. Witek G., *Projekt i wykonanie stanowiskowego symulator układu hamulcowego ABS*, praca dyplomowa inżynierska, Politechnika Opolska 2013
4. Trzeciak K., *Elektronika w samochodzie*, WKŁ Warszawa 2001
5. Herner A. Riehi H., *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, WKŁ Warszawa 2003
6. Wagner U., Godecker H., Schlagner S., *Brake Squeal - Modeling and Experimental Investigation Using a Work Criterion*, International Journal of Vehicle Structures & Systems, Vol 3, No 1, 2011

BRAKING SYSTEM SIMULATOR WITH ABS FUNCTION

Abstract

This article presents built by students from the University of Opole in their dissertations a braking system simulator with ABS. The article describes the necessary measuring and recording system used during the tests on the simulator and provides examples of the results of the tests.

Autorzy:

dr inż. **Mariusz Graba** – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych, m.graba@po.opole.pl

dr inż. **Andrzej Bieniek** – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych, a.bieniek@po.opole.pl

dr hab. inż. **Jarosław Mamala**, prof. PO – Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych, j.mamala@po.opole.pl

mgr inż. **Jarosław Królikiewicz** – dyplomant specjalności Samochody i Ciągniki Politechniki Opolskiej, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych.