

POLITECHNIKA POZNAŃSKA
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu
Kierunek Mechanika i Budowa Maszyn
Specjalność Samochody i Ciągniki

Praca magisterska

Model dynamiki wzdłużnej samochodu w czasie rzeczywistym do symulacji Hardware In the Loop

Promotor:
dr inż. Grzegorz Ślaski

Poznań 2007

Streszczenie

Poniższa praca przedstawia opis procesu przystosowania i weryfikacji działania modelu procesu hamowania 4-kołowego pojazdu do symulacji Hardware In the Loop na stanowisku demonstracyjnym układu ABS.

Pierwsze dwa rozdziały zawierają informacje niezbędne do zrozumienia zasady działania układu ABS. Znalazły się w nich podstawowe wiadomości z dziedziny dynamiki, typowe przebiegi regulacji w sytuacjach drogowych oraz budowa i zasada działania elementów składowych układu ABS.

W kolejnych trzech rozdziałach praca zawiera opisy: układu hamulcowego Forda Escorta z układem ABS Teves MK20, stanowisk demonstracyjnych ABS oraz środowiska symulacji w czasie rzeczywistym firmy dSpace.

Dalsza część pracy zawiera opis kolejnych etapów przystosowania modelu off-line, wykonanego w środowisku Simulink, do symulacji HIL w środowisku dSpace wraz z identyfikacją sygnałów wejściowych i wyjściowych z modelu oraz z jego weryfikacją jakościową. Weryfikacja jakościowa działania stanowiska dokonana została w czasie rzeczywistym w warunkach sprzętowego sprzężenia zwrotnego.

Uzyskanie pozytywnych wyników pozwala wykorzystać zbudowane stanowisko w celach dydaktycznych oraz do dalszej jego rozbudowy o kolejne elementy dynamiki pojazdu w celu osiągnięcia pełnego symulatora jazdy.

Spis treści

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń	5
Wstęp	6
1. Układ zapobiegający blokowaniu się kół podczas hamowania – ABS.....	7
1.1. ABS jako układ regulacji	9
1.2. Dynamika hamowania pojazdu	11
1.2.1. Dynamika koła hamowanego	12
1.2.2. Dynamika hamowania pojazdu	18
1.3. Cykle sterowania ABS	22
1.3.1. Sterowanie procesem hamowania na jezdni o dużej przyczepności	23
1.3.2. Sterowanie procesem hamowania na jezdni o małej przyczepności	24
1.3.3. Sterowanie procesem hamowania z układem opóźniającym narastanie momentu odchylającego.....	25
2. Budowa i zasada działania podstawowych elementów układu ABS	28
2.1. Czujnik prędkości obrotowej	28
2.2. Sterownik ABS.....	32
2.3. Modulator hydrauliczny ABS	35
3. Układ hamulcowy samochodu Ford Escort.....	40
3.1. Budowa układu Teves MK20.....	40
3.2. Realizacja regulacji ABS	42
4. Stanowiska do symulacji pracy układu ABS	45
4.1. Stanowisko firmy Mechatronika	45
4.2. Stanowisko Politechniki Poznańskiej.....	47
5. Symulacja komputerowa w badaniu i rozwoju układów pojazdów	50
5.1. Środowisko symulacji firmy dSpace	51
5.1.1. Oprogramowanie	51
5.1.2. Sprzęt wspomagający	52
5.2. Symulacja w czasie rzeczywistym w środowisku dSpace	53
6. Symulacja HIL układu ABS na stanowisku Politechniki Poznańskiej	57
6.1. Czujniki ciśnienia.....	58
6.2. Symulator dSpace.....	60
6.3. Elementy zabezpieczające.....	61

7.	Identyfikacja sygnałów wejściowych i wyjściowych do modelu symulacyjnego HIL .	63
7.1.	Identyfikacja sygnałów wejściowych do modelu.....	63
7.2.	Identyfikacja sygnałów wyjściowych z modelu.....	64
7.2.1.	Pomiar sygnału elektrycznego z czujników prędkości obrotowej na stanowisku ABS	64
7.2.2.	Wyznaczanie charakterystyki czujników prędkości obrotowej kół w rzeczywistym pojeździe Ford Escort.....	67
7.2.3.	Wyznaczanie charakterystyki sygnału generowanego przy pomocy kart DS2211 HIL I/O Board	70
8.	Model dynamiki wzdłużnej samochodu do symulacji HIL	73
8.1.	Modelu dynamiki wzdłużnej do symulacji off-line	73
8.2.	Modyfikacje modelu off-line	77
8.2.1.	Moduł obliczania poślizgu	79
8.2.2.	Rozszerzenie modelu przyczepności koła do nawierzchni	79
8.2.3.	Interfejsy wejściowy	80
8.2.4.	Moduł obliczania momentu hamującego	82
8.2.5.	Moduł obliczania prędkości obrotowej koła i amplitudy sygnału z czujników prędkości obrotowej	84
8.2.6.	Interfejs wyjściowy	85
8.2.7.	Wizualizacja eksperymentu.....	87
9.	Eksperymenty symulacyjne na stanowisku ABS	89
9.1.	Hamowanie na nawierzchni o dużym współczynniku przyczepności	90
9.2.	Hamowanie na nawierzchni o małym współczynniku przyczepności	94
	Podsumowanie	98
	Literatura	101
	Załącznik 1. Model dynamiki wzdłużnej do symulacji HIL (CD-ROM)	102
	Załącznik 2. Wyniki eksperymentów identyfikacyjnych (CD-ROM)	102
	Załącznik 3. Wyniki eksperymentów symulacyjnych na stanowisku ABS (CD-ROM)	102

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń

ABS	(niem. <i>Anti-Blokier-System</i>) układ zapobiegający blokowaniu się kół podczas hamowania
ECU	(<i>Electronic Control Unit</i>) Elektroniczna jednostka sterująca
GMA	(niem. <i>Gier-Moment-Aufbauverzögerung</i>) układ opóźniający narastanie momentu odchyłającego podczas hamowania
HIL	(<i>Hardware In the Loop</i>) symulacja z sprzętowym sprzężeniem zwrotnym
a	przyspieszenie liniowe [m/s ²]
F	siła (F_B - boczna, F_N - normalna, F_O - obwodowa) [N]
F_H	siła hamująca [N]
F_R	siła przyczepności koła do podłoża (F_{RB} poprzeczna, F_{RO} wzdłużna) [N]
I	moment bezwładności koła [kg*m ²]
M_H	moment hamujący [Nm]
M_R	moment reakcyjny (przyczepności) między oponą a jezdnią [Nm]
M_T	moment tarcia w hamulcu [Nm]
m	masa pojazdu [kg]
r_d	promień dynamiczny koła [m]
s	poślizg względny koła [-]
v	prędkość liniowa pojazdu [m/s]
v_o	prędkość obwodowa koła [m/s]
α	kąt wzniesienia drogi [°]
ε	przyspieszenie kątowe koła [1/s ²]
μ	współczynnik przyczepności (μ_O wzdłużnej, μ_B poprzecznej) [-]
ω	prędkość kątowna koła [1/s]
Indeksy $1, 2$ L, P	oś przednia , tylna strona lewa, prawa

Wstęp

W celu zapoznania studentów Politechniki Poznańskiej z zasadami działania układu ABS, w 2005 r. zbudowane zostało stanowisko demonstracyjne układu hamulcowego w ramach pracy magisterskiej pod tytułem „*Stanowisko do badania hydraulicznych układów hamulcowych*”.

Koncepcja autorów stanowiska zakładała zastąpienie wirujących kół pojazdu dwoma wieńcami zębatymi, z których jeden posiadał skokowo zmienną prędkość obrotową. Za jej zmianę odpowiedzialny był operator. Każdy z wieńców służył do generowania sygnałów prędkości obrotowych w czujnikach indukcyjnych dwóch kół. Spadek prędkości obrotowej jednego wieńca przy stałej prędkości drugiego odpowiadał sytuacji, w której para kół utraciła przyczepność. Układ ABS obniżał wówczas w ciśnienia w cylindrach hamulcowych kół, na których zasymulowano poślizg. Ingerencję układu ABS można było obserwować na zamontowanych na stanowisku manometrach cieczowych.

Ponieważ sprzężenie zwrotne układu regulacji realizowane było przez operatora, działanie ABS na stanowisku nie odpowiada rzeczywistemu działaniu układu. W związku z tym oraz błędami konstrukcyjnymi i wykonawczymi popełnionymi podczas budowy stanowiska, konieczna stała się jego gruntowna przebudowa.

Zwiększenie walorów użytkowych stanowiska, po wcześniejszym usunięciu istniejących błędów, stało się możliwe dzięki wprowadzeniu do niego sprzętowego sprzężenia zwrotnego (*“Hardware In the Loop”*). Symulacja HIL pozwoliła na współpracy rzeczywistej jednostki ABS z komputerowym modelem pojazdu. Przebudowa stanowiska odbyła się w trzech etapach:

- poprawienie błędów konstrukcyjnych stanowiska ABS oraz dostosowanie go do potrzeb symulacji HIL, realizowane w ramach pracy pod tytułem „*Modernizacja stanowiska ABS dostosowująca je do symulacji HIL*”,
- zbudowanie modelu off-line pojazdu z układem ABS uwzględniającego dynamikę wzdużną pojazdu, będące tematem pracy „*Model off-line dynamiki wzdużnej samochodu z systemem ABS*”, autorstwa ,
- budowa modelu do symulacji HIL na bazie istniejącego modelu off-line.

Celem poniższej pracy jest prezentacja etapu budowy modelu dynamiki wzdużnej samochodu umożliwiającego jego integrację z rzeczywistą jednostką ABS, który wymaga analizy potrzeb z punktu widzenia HIL oraz budowy interfejsów między modelem symulacyjnym dynamiki pojazdu a rzeczywistymi elementami układu hamulcowego z ABS.