

Spis treści

<u>STRESZCZENIE.....</u>	<u>2</u>
<u>ABSTRACT.....</u>	<u>2</u>
<u>WSTĘP.....</u>	<u>2</u>
<u>Symbole.....</u>	<u>3</u>
<u>1 Wprowadzenie.....</u>	<u>5</u>
<u>1.1 Budowa układu zawieszenia.....</u>	<u>5</u>
<u>1.2 Cel badania amortyzatorów.....</u>	<u>6</u>
<u>1.2.1 Względy bezpieczeństwa.....</u>	<u>6</u>
<u>1.2.2 Względy prawne.....</u>	<u>7</u>
<u>1.3 Metody badania amortyzatorów.....</u>	<u>8</u>
<u>1.4 Dynamika układu zawieszenia.....</u>	<u>10</u>
<u>2 Analiza stanowiska BOGE.....</u>	<u>14</u>
<u>2.1 Budowa stanowiska.....</u>	<u>14</u>
<u>2.2 Charakter pracy.....</u>	<u>14</u>
<u>2.3 Wyniki badań.....</u>	<u>16</u>
<u>3 Model pracy stanowiska.....</u>	<u>17</u>
<u>3.1 Obiekt mechaniczny.....</u>	<u>17</u>
<u>3.2 Założenia upraszczające.....</u>	<u>17</u>
<u>3.3 Model fizyczny.....</u>	<u>18</u>
<u>3.4 Model matematyczny.....</u>	<u>19</u>
<u>3.4.1 Model pojazdu.....</u>	<u>19</u>
<u>3.4.2 Model stanowiska.....</u>	<u>21</u>
<u>3.5 Określenie parametrów.....</u>	<u>24</u>
<u>3.5.1 Stanowisko BOGE.....</u>	<u>24</u>
<u>3.5.2 Pojazd badany.....</u>	<u>34</u>
<u>4 Implementacja modelu w MATLAB/Simulink.....</u>	<u>44</u>
<u>4.1 Widok ogólny modelu.....</u>	<u>44</u>
<u>4.2 Model masy nieresorowanej.....</u>	<u>46</u>
<u>4.3 Model opony.....</u>	<u>46</u>
<u>4.4 Model zawieszenia.....</u>	<u>47</u>
<u>4.5 Model masy resorowanej.....</u>	<u>49</u>
<u>4.6 Model stanowiska BOGE.....</u>	<u>51</u>
<u>4.7 Model mechanizmu wymuszającego.....</u>	<u>53</u>
<u>4.8 Model silnika elektrycznego.....</u>	<u>55</u>
<u>4.9 Model oporów.....</u>	<u>58</u>
<u>4.10 Skrypt uruchamiający.....</u>	<u>58</u>
<u>5 Badania eksperymentalne.....</u>	<u>62</u>
<u>5.1 Eksperyment badawczy.....</u>	<u>62</u>
<u>5.2 Obiekt badawczy.....</u>	<u>62</u>
<u>5.3 Aparatura pomiarowa.....</u>	<u>64</u>
<u>5.3.1 Urządzenie do akwizycji danych.....</u>	<u>64</u>
<u>5.3.2 Linkowy czujniki przemieszczeń.....</u>	<u>66</u>
<u>5.3.3 Laserowy czujnik przemieszczeń.....</u>	<u>66</u>
<u>5.3.4 Bezwładnościowy czujnik przyspieszeń.....</u>	<u>68</u>
<u>5.3.5 Wielofunkcyjny czujnik CAN.....</u>	<u>70</u>
<u>5.4 Wielkości mierzone.....</u>	<u>70</u>
<u>5.5 Analiza wyników pomiarów i porównanie z wynikami modelu.....</u>	<u>73</u>
<u>5.5.1 Przemieszczenia.....</u>	<u>73</u>

5.5.2 Przyspieszenia.....	76
5.5.3 Prędkości kątowe.....	80
6 Badania symulacyjne.....	85
6.1 Charakter badań.....	85
6.2 Wpływ tłumienia amortyzatora.....	85
6.3 Wpływ sztywności opony.....	88
7 Podsumowanie.....	92
BIBLIOGRAFIA.....	94

STRESZCZENIE

Niniejsza praca dotyczy modelowania dynamiki stanowiska do badania amortyzatorów metodą BOGE oraz dynamiki pojazdu do badania na tym stanowisku.

Pierwszy rozdział jest omówieniem pojęć związanych z budową, działaniem i analizą badania amortyzatora. W drugim rozdziale scharakteryzowano metodę badania BOGE. Trzeci rozdział zajmuje się procedurą modelowania dynamiki zarówno stanowiska BOGE oraz pojazdu. Rozdział dodatkowo zawiera identyfikację ich parametrów. W następnym rozdziale przedstawiono zapisu modelu w programie komputerowym Matlab/Simulink. Modele, w oprogramowaniu komputerowym, zweryfikowano w rozdziale piątym. Po weryfikacji, w rozdziale szóstym, przeprowadzono badania symulacyjne na modelu. Podsumowanie zawiera wnioski wyciągnięte przy tworzeniu pracy.

ABSTRACT

Title: Modeling and verification of shock absorber device for testing shocks whilst fitted to a vehicle – BOGE method device

Following work concerns modeling of dynamic of device for testing shock absorbers with BOGE method and dynamic of tested vehicle dedicated for testing.

In first chapter terms, connected with construction, work and analysis of shock absorber test, has been laid down. In second chapter shock absorber test with BOGE method has been described. In third chapter it has been taken care about procedure of dynamic modeling both BOGE device and vehicle. This chapter additionally contains parameter identification for them. In next chapter models have been implemented in Matlab/Simulink application. Models in software application have been verified in fifth chapter. After verification, in six chapter, simulation experiments have been conveyed. Summary contains conclusion which occurred at thesis creation.

WSTĘP

W pracy skupiono się na modelowaniu dynamiki samochodu dwuosiowego podczas badania na stanowisku do badania stanu amortyzatorów zamontowanych w pojeździe według metody BOGE. Warto podkreślić, że wszystkie stosowane w technice jak i nauce modele są niedoskonałe i ograniczone przybliżeniami. Proces modelowania zrealizowany w niniejsze pracy polegał na myślowym, zastąpieniu rzeczywistych obiektów (samochodu i stanowiska) ich uproszczonymi modelami fizycznymi, a następnie przygotowaniu dla nich modeli matematycznych, które były użyteczne dopiero po identyfikacji parametrów modeli fizycznych. Tworzenie modelu matematycznego polegało na układaniu równań ruchu metodą d'Alemberta.

Wiedza na temat analizy badania amortyzatorów jest skromna i ogranicza się głównie do znajomości zadawanego wymuszenia i wyniku, który należy otrzymać na końcu, aby mieć pewność, że amortyzator jest zdatny. Badanie przeprowadza się, ponieważ znając parametry zawieszenia nie można ocenić jego stanu. Z drugiej strony wiedząc jak określić stan, nie znany jest mechanizm orzekania, że właśnie taka, a nie inna amplituda jest stanem idealnym, dopuszczalnym lub nie nadającym się do eksploatacji.

Potrzeba stworzenia tej pracy wzięła się z chęci poznania wyniku badania BOGE przy znajomości parametrów zawieszenia. Aby móc to zrobić należy zrozumieć dynamikę stanowiska i pojazdu umieszczonego na nim. Wymagania te są niezbędne do osiągnięcia celu głównego, jakim jest stworzenie zweryfikowanego, funkcjonalnego modelu ruchu stanowiska BOGE. Dodatkowym celem jest przeanalizowanie wyników badania przy zmieniających się parametrach zawieszenia. Do weryfikacji jak i przeanalizowania zmian, zachodzących przy zmianie parametrów zawieszenia, przeprowadzono badania rzeczywiste i symulacyjne. Do zakresu tematycznego pracy zaliczono stanowisko do badania amortyzatorów BOGE oraz pojazd, który może być na nim badany. Na wstępie omówiono pojęcia związane z przedmiotem badań.

SYMBOLE

Poniżej zamieszczono listę oznaczeń wykorzystywanych w pracy.

- M_n - moment napędowy
- M_{op} - moment oporowy
- M_s - moment od sprężyny stanowiska
- F_s - siła wywierana przez sprężynę stanowiska
- F_{sxy} - siła wywierana przez zawieszenie w narożniku xy
- F_{txy} - siła wywierana przez oponę w narożniku xy
- G_{wxy} - ciężar masy nieresorowanej w narożniku xy
- G_{bxy} - ciężar masy resorowanej w narożniku xy
- G_{rx} - ciężar x-tej części ramy
- G - ciężar masy resorowanej
- k_{txy} - współczynnik sprężystości masy nieresorowanej w narożniku xy
- k_{sxy} - współczynnik sprężystości masy resorowanej w narożniku xy
- c_{txy} - współczynnik tłumienia masy nieresorowanej w narożniku xy
- c_{sxy} - współczynnik tłumienia masy resorowanej w narożniku xy
- I_{rx} - moment bezwładności x-tej części ramy wokół jej osi obrotu
- I_m - moment bezwładności koła zamachowego
- I_j - moment bezwładności silnika elektrycznego
- I_{wk} - moment bezwładności wału korbowego
- m_{xy} - masa nieresorowana w narożniku xy
- m - masa resorowana
- m_{rx} - masa x-tej części ramy
- z_{bxy} - przemieszczenie pionowe masy resorowanej w narożniku xy
- z_{wxy} - przemieszczenie pionowe masy nieresorowanej w narożniku xy
- z - przemieszczenie pionowe masy resorowanej
- z_n - przemieszczenie korbowodu w kierunku wzdłużnym osi sprężyny
- z_r - przemieszczenie punktu połączenia sprężyny stanowiska z ramą w kierunku wzdłużnym osi sprężyny
- α - kąt obrotu ramy wokół osi obrotu
- β - kąt obrotu dolnej części ramy wokół osi obrotu
- γ - kąt nachylenia sprężyny stanowiska do podłoża

- δ** - kąt obrotu wału korbowego
- φ** - kąt obrotu masy resorowanej wokół głównej osi bezwładności wzdłużnej
- θ** - kąt obrotu masy resorowanej wokół głównej osi bezwładności poprzecznej
- l_{xc}** - odległość środka ciężkości x-tej części ramy od jej osi obrotu
- l_1** - odległość koła pojazdu od środka obrotu ramy wzdłuż osi poziomej
- l_3** - odległość sprężyny stanowiska od środka obrotu ramy wzdłuż osi poziomej
- a** - odległość przednich mas nieresorowanych od środka ciężkości masy resorowanej
- b** - odległość tylnych mas nieresorowanych od środka ciężkości masy resorowanej
- c** - odległość prawych mas nieresorowanych od środka ciężkości masy resorowanej
- d** - odległość lewych mas nieresorowanych od środka ciężkości masy resorowanej