

Kielce, 2020.10.07

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Autor: mgr inż. Dawid Sebastian Pietrala

Tytuł Pracy: „Analiza i synteza pneumatycznego serwonapędu mięśniowego w zastosowaniu do manipulatora równoległego o sześciu stopniach swobody”

Promotor: dr hab. inż. Paweł Łaski, prof. PŚk

Cel i zakres pracy

Celem głównym pracy jest opracowanie i badania serwonapędu złożonego z dwóch mięśni pneumatycznych pracujących przeciwsobnie, zdolnego do wypracowania zadanej pozycji kątowej i wykorzystanie go jako napędu ramion manipulatora równoległego o sześciu stopniach swobody.

Cele szczegółowe pracy dotyczą:

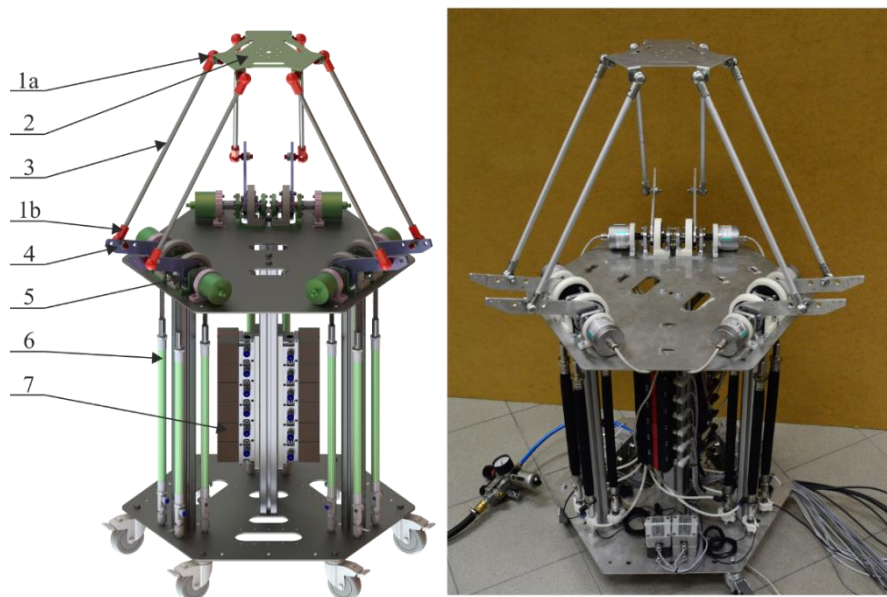
- a) analizy statycznego i dynamicznego zachowania mięśnia pneumatycznego,
- b) opracowania modelu matematycznego opisującego zachowanie mięśnia,
- c) syntezy układu regulacji dla serwonapędu mięśniowego pozycji kątowej,
- d) syntezy układu regulacji dla serwonapędu mięśniowego momentu siły,
- e) opracowania i wykonania konstrukcji manipulatora oraz opracowania jego modelu kinematycznego,
- f) określenia dokładności i powtarzalności opracowanego manipulatora.

Rozprawa zawiera: spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, wprowadzenie, część merytoryczną pracy, spis wykorzystanej literatury, spis rysunków, spis tabel, streszczenie w języku polskim oraz streszczenie w języku angielskim. Część merytoryczną rozprawy podzielono na siedem głównych rozdziałów. Rozdział pierwszy zawiera analizę stanu wiedzy dotyczącą sztucznych mięśni pneumatycznych, w szczególności ich zachowania, modelowania, metod kontroli oraz ich zastosowania. W rozdziale tym przedstawiono również analizę stanu wiedzy dotyczącą manipulatorów o zamkniętych łańcuchach kinematycznych, w szczególności ich modeli kinematycznych i dynamicznych oraz wykorzystania mięśni pneumatycznych. Rozdział drugi zawiera szczegółową analizę opracowanego przez autora mięśnia pneumatycznego. W rozdziale tym przedstawiono jego porównanie z mięśniem DMS-20-120 firmy Festo i wyznaczono jego charakterystyki statyczne i dynamiczne. W trzecim rozdziale przedstawiono opracowane modele matematyczne autorskiego mięśnia pneumatycznego, z których pierwszy dotyczył zagadnienia wyznaczania pozycji mięśnia a drugi wyznaczania siły generowanej przez mięsień. Rozdział ten zawiera również wyniki badań eksperymentalnych weryfikujących poszczególne modele matematyczne oraz wyniki ilościowego porównania ich działania z modelami statycznymi. Rozdział czwarty zawiera syntezę układów regulacji dla serwonapędu pozycji kątowej i serwonapędu momentu siły. W rozdziale tym przedstawiono schemat działania poszczególnych serwonapędów oraz

przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla oceny dokładności pracy opracowanych serwonapędów. W piątym rozdziale przedstawiono opis konstrukcji opracowanego manipulatora oraz jego model kinematyczny. Omówiono metody rozwiązania zadania prostego i odwrotnego kinematyki. Przedstawiono również wyniki badań symulacyjnych oraz przybliżoną przestrzeń roboczą urządzenia. Rozdział szósty zawiera wyniki badań eksperymentalnych dokładności i powtarzalności pozycjonowania opracowanego urządzenia przy sterowaniu nadążnym i przestawczym. W rozdziale siódmy przedstawiono podsumowanie będące odniesieniem do celu głównego pracy.

Podsumowanie

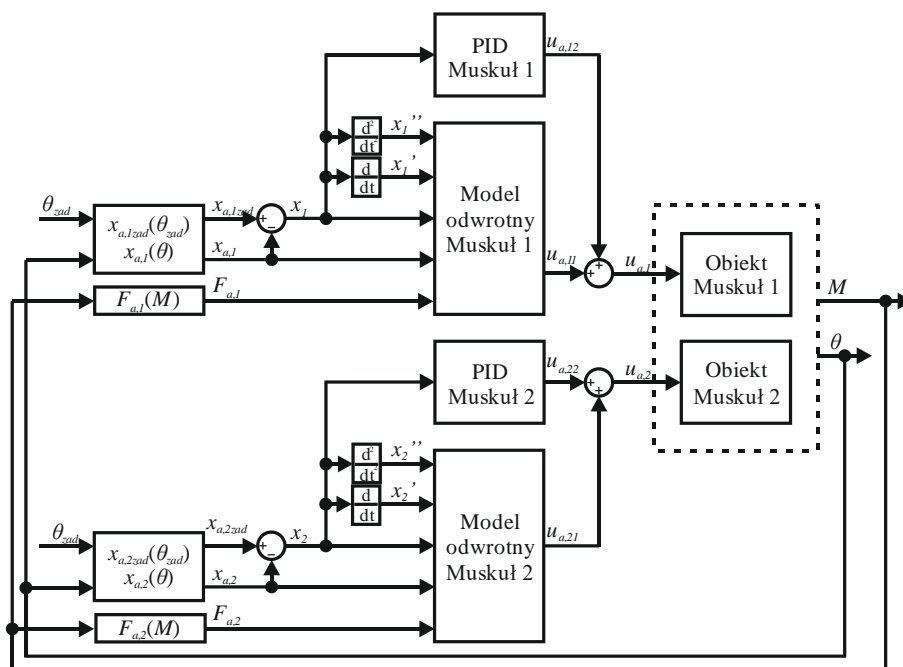
W rozdziałach od 1 do 6 niniejszej pracy przedstawiono poszczególne etapy opracowania, budowy i badań pneumatycznego serwonapędu mięśniowego, który następnie zastosowano do napędzania ramion manipulatora równoległego o sześciu stopniach swobody. Schemat i rzeczywisty widok manipulatora przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Schemat i widok rzeczywisty opracowanego manipulatora.

Każdy z tych rozdziałów stanowi próbę opisu realizacji jednego z wymienionych we wstępie celów szczegółowych pracy. Natomiast niniejsza rozprawa jako całość opisuje realizację celu głównego pracy. Z uwagi na złożoność celu głównego, jego realizację podzielono na etapy. W pierwszym etapie dokonano analizy zachowania istniejących na rynku muskułów i porównano ich pracę z autorskim muskułem pneumatycznym. Następnie na podstawie wyników badań porównawczych zdecydowano o wykorzystaniu autorskiego

mięśnia do dalszych badań. Mięsień ten poddano szczegółowej analizie, której efektem było wyznaczenie trzech rodzin charakterystyk statycznych oraz dwóch rodzin charakterystyk dynamicznych. Następnie dysponując wynikami badań przystąpiono do wyznaczenia modeli matematycznych opisujących zachowanie obiektu. Wyznaczono dwa funkcjonalne dynamiczne modele matematyczne. Pierwszy z nich, oznaczony jako model pozycyjny, pozwala obliczyć długość mięśnia $x_{a,zad}$ na podstawie wartości sygnału sterującego u_a , aktualnej długości mięśnia x_a i aktualnej siły obciążającej mięsień F_a . Drugi model, nazwany modelem siłowym, pozwala obliczyć siłę generowaną przez mięsień $F_{a,zad}$ na podstawie wartości sygnału sterującego u_a , aktualnej długości mięśnia x_a i aktualnej siły obciążającej mięsień F_a . Następnie dokonano analizy pracy wyznaczonych modeli wykorzystując je do sterowania obiektem w pętli otwartej. W tym celu każdy z modeli przekształcono w model odwrotny pozwalający wyznaczyć wartość sygnału sterującego niezbędną do wypracowania zadanych parametrów pracy modelu. Ponadto dokonano ilościowego porównania pracy modeli dynamicznych z modelami statycznymi, będącymi charakterystykami statycznymi mięśnia. Następnie przystąpiono do syntezy układów regulacji dla poszczególnych serwonapędów. Schemat serwonapędu pozycji kątowej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2 Schemat serwonapędu pozycji kątowej.

Do budowy serwonapędu pozycji kątowej wykorzystano dwa odwrotne model pozycyjne, z których każdy sterował pojedynczym mięśniem wchodzącym w skład

serwonapędu. Z uwagi na niedokładności pracy modeli, każdy układ zawierał ponadto regulator PID korygujący pracę układu. Serwonapęd momentu siły zbudowano w sposób analogiczny, przy czym wykorzystano odwrotny model siłowy. Następnie dokonano weryfikacji pracy poszczególnych serwonapędów wykorzystując w tym celu zadane sygnały sinusoidalne o różnych częstotliwościach oraz sygnały prostokątne. W kolejnym etapie prac przystąpiono do opracowania i budowy konstrukcji manipulatora. Zaprojektowano i wykonano również autorski układ elektroniczny wykorzystywany do konwersji i koncentracji sygnałów z przetworników położenia kąowego. Następnie przystąpiono do opracowania modelu kinematycznego urządzenia. W tym celu wykorzystano zapis macierzowy oraz zależności geometryczne. Zadanie odwrotne kinematyki rozwiązano w sposób jawny, natomiast zadanie proste kinematyki rozwiązano w sposób numeryczny. Dysponując modelem kinematycznym przeprowadzono szereg badań symulacyjnych pozwalających określić maksymalny zakres ruchu poszczególnych napędów oraz wyznaczyć przybliżoną przestrzeń roboczą urządzenia. W ostatnim etapie prac dokonano badań eksperymentalnych wykonanego manipulatora. Badania podzielono na dwa etapy. W pierwszym wykonano badania dokładności pozycjonowania przy sterowaniu nadążnym. Badania te wykonano zarówno bez dodatkowego obciążenia jak i z dodatkowym obciążeniem efektora. Podczas badań manipulator wykonywał po 50 różnych sekwencji ruchu z obciążeniem i bez obciążenia, podzielonych na sekwencje jednowymiarowe, dwuwymiarowe i trójwymiarowe. Wyniki badań 26 wybranych sekwencji z obciążeniem i 26 wybranych sekwencji bez obciążenia przedstawiono i szczegółowo omówiono w pracy. Następnie dokonano badań eksperymentalnych dokładności i powtarzalności pozycjonowania w pracy przestawnej. W tym celu manipulator po 117 razy osiągał każdy z pięciu docelowych punktów i zatrzymywał się w nim. Następnie, po ustabilizowaniu się urządzenia, dokonywano pomiaru pozycji kątowych napędów, a następnie wykorzystując zadanie proste kinematyki wyznaczano pozycję i orientację efektora. Wyniki tych badań przedstawiono w rozdziale 6.