

dr inż. Piotr Gawłowicz
 mgr Marcin Chciuk
 mgr inż. Paweł Bachman
 Uniwersytet Zielonogórski

ALGORYTMY STEROWANIA NAPĘDEM ELEKTROHYDRAULICZNYM PRZY POMOCY WAHADŁOWEGO DŻOJSTIKA DOTYKOWEGO Z CIECZĄ MR W UKŁADZIE Z SIŁOWYM SPRZĘŻENIEM ZWROTNYM

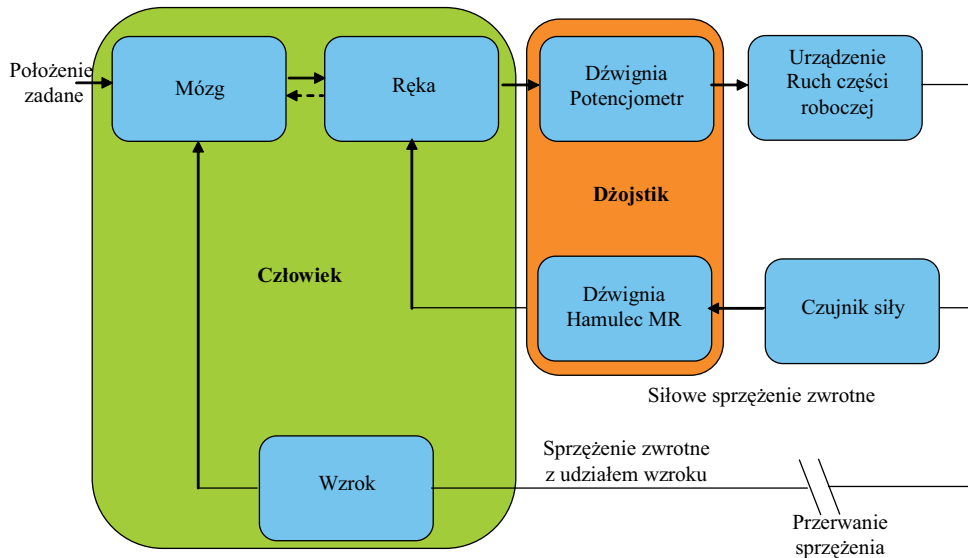
W artykule opisano układ sterowania serwonapędu elektrohydraulicznego z dodatkowym siłowym sprzężeniem zwrotnym. Przedstawiono budowę i zasadę działania hamulca z cieczą magnetoreologiczną i zależność momentu hamującego od prądu. Końcowa część artykułu zawiera wyniki badań doświadczalnych procesu sterowania serwonapędem elektrohydraulicznym za pomocą dżojstika dotykowego z cieczą magnetoreologiczną przy pomocy dwóch różnych algorytmów sterowania.

ALGORITHMS OF CONTROL ELECTROHYDRAULIC DRIVE BY SWINGING MOTION HAPTIC JOYSTICK WITH MAGNETORHEOLOGICAL FLUID AND FORCE FEEDBACK

The article describes control system of electrohydraulic servo drive with additional force feedback. The structure of magnetorheological rotary brake and the research of relation between torque and current are presented. The last section forms results based on the research electrohydraulic servo drive's control system with magnetorheological haptic joystick by two different control algorithms.

1. WSTĘP

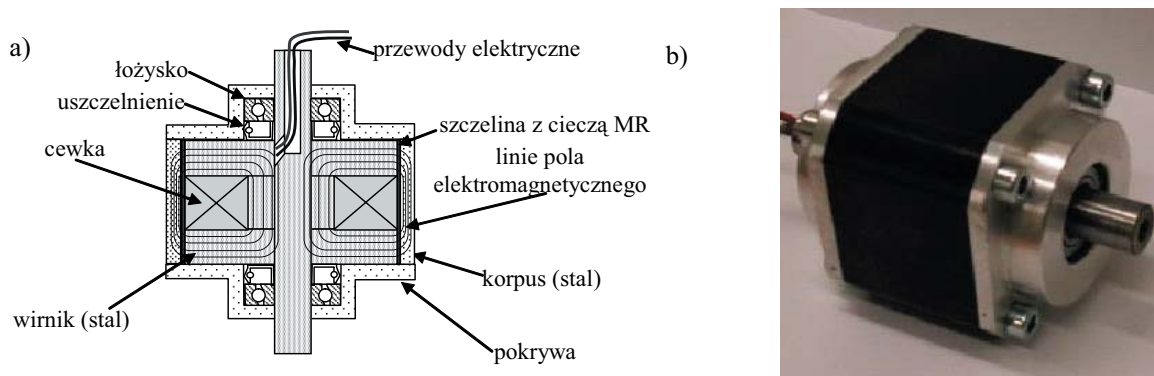
Sterowanie w napędach elektrohydraulicznych stosowanych w różnego rodzaju maszynach często odbywa się w pętli położeniowego sprzężenia zwrotnego. Sprzężenie to realizowane jest w sposób elektryczny lub poprzez operatora, który swoim wzrokiem obserwuje położenie tłoczyska. W tym drugim przypadku problem może pojawić się, gdy sterownie odbywa się w warunkach niedostatecznej widoczności lub w przypadku jej braku. Gdy operator nie może obserwować ruchomej części roboczej sterowanego urządzenia przerwana jest pętla położeniowego sprzężenia zwrotnego (rys. 1), co powoduje brak możliwości precyzyjnego sterowania. Rozwiązaniem, w tym wypadku, mogłoby być dodatkowe siłowe sprzężenie zwrotne wraz z odpowiednio zmodyfikowanym dżojstikiem, umożliwiającym operatorowi odczuwanie siły przekazywanej ze sterowanego urządzenia (dżojstik dotykowy – ang. *haptic joystick*). Urządzenia dotykowe znane są już od lat i wykorzystywane są do przekazywania wrażeń związanych z dotykiem, np. pochodzących z wirtualnej rzeczywistości lub gier komputerowych [1]. Stosowane są też w robotach chirurgicznych [1], a także w układach sterowania samolotów. Istnieje kilka firm produkujących takie urządzenia, m.in. Immersion [5], SensAble [7], Force Dimension [4], które mają w swojej ofercie kilkanaście różnych rodzajów tego typu urządzeń [1].



Rys. 1. Schemat koncepcji sterowania urządzeniami w układzie z dodatkowym siłowym sprzężeniem zwrotnym

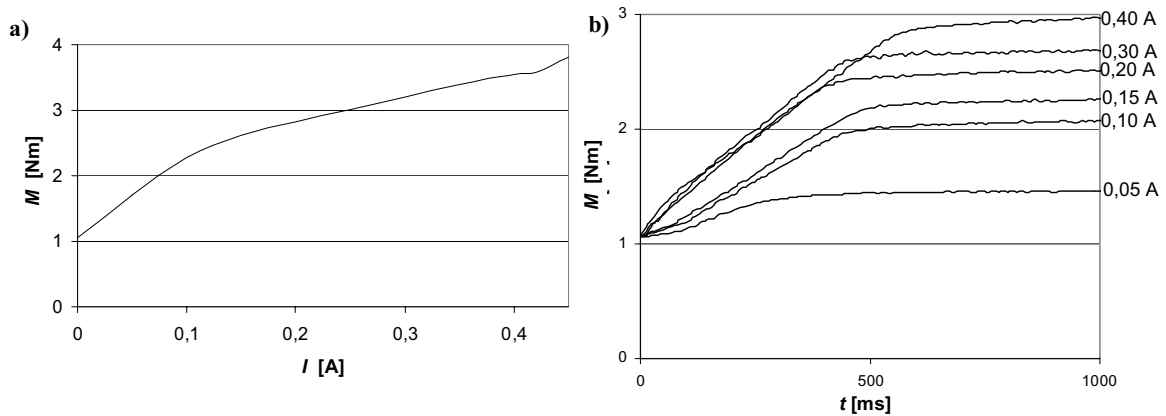
2. BUDOWA I BADANIA DŻOJSTIKA DOTYKOWEGO

W budowie dźwigni dotykowej wykorzystano właściwości cieczy magnetoreologicznej [6], której szczególną cechą jest wzrost jej lepkości wraz ze wzrostem działającego na nią pola magnetycznego. Jeżeli ciecz ta umieszczona jest w polu magnetycznym zawieszane w niej cząsteczki ferromagnetyczne zaczynają zachowywać się jak „miniaturowe magnesy”, układając się wzdłuż linii sił pola magnetycznego i stanowią przeszkodę dla przepływu nośnika [3]. Wykorzystując to zjawisko zaprojektowano i wykonano obrotowy hamulec magnetoreologiczny, którego przekrój i widok pokazane są na rys. 2.



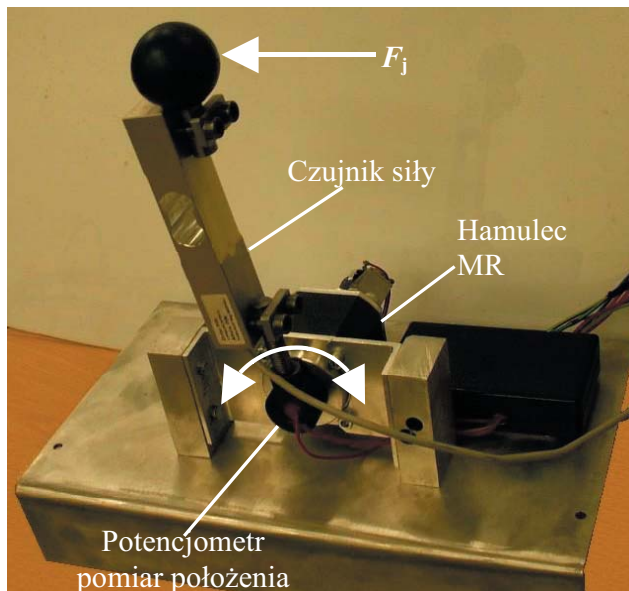
Rys. 2. Przekrój (a) i widok (b) hamulca MR

Charakterystyki hamulca przedstawiono na rys. 3. Pierwsza z nich (rys. 3a) pokazuje zależność momentu hamującego od prądu płynącego przez cewkę hamulca, a druga (rys. 3b) dynamikę działania hamulca dla różnych wartości natężenia prądu płynącego przez jego cewkę.



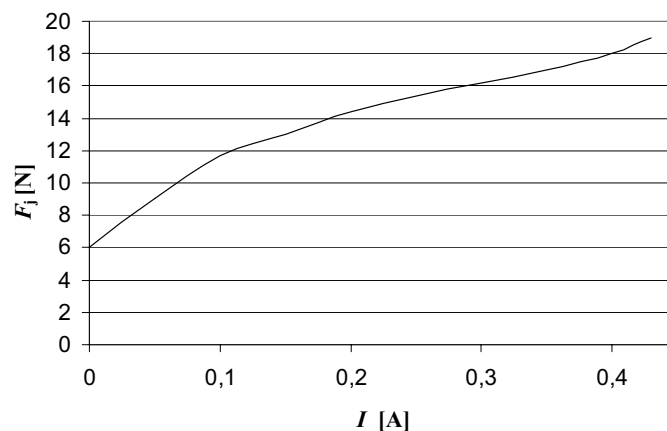
Rys. 3. Charakterystyki hamulca MR: a) $M=f(I)$; b) $M=f(t)$ dla różnych prądów

Na bazie opisanego hamulca wykonano dźwistik, w którym na czas badań w dźwigni umieszczono czujnik siły (rys. 4). Do pomiaru położenia kąowego dźwistka służy potencjometr obrotowy.



Rys. 4. Widok dźwistka dotykowego (F_j – siła hamująca dźwistka)

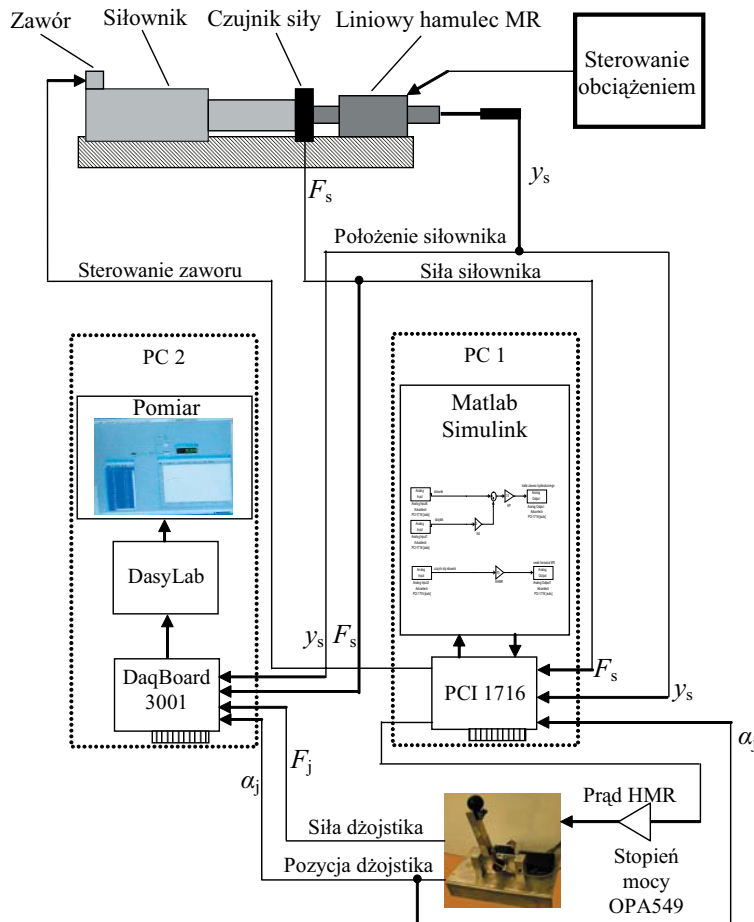
Następnie wykonano badania siły hamującej (F_j) dźwistka, dla różnych prądów płynących przez cewkę hamulca magnetoreologicznego. Wyniki tych pomiarów pokazane są na rys. 5.



Rys. 5. Charakterystyka dźwistka $F_j=f(I)$ (F_j – siła hamująca dźwistka, I – prąd hamulca MR)

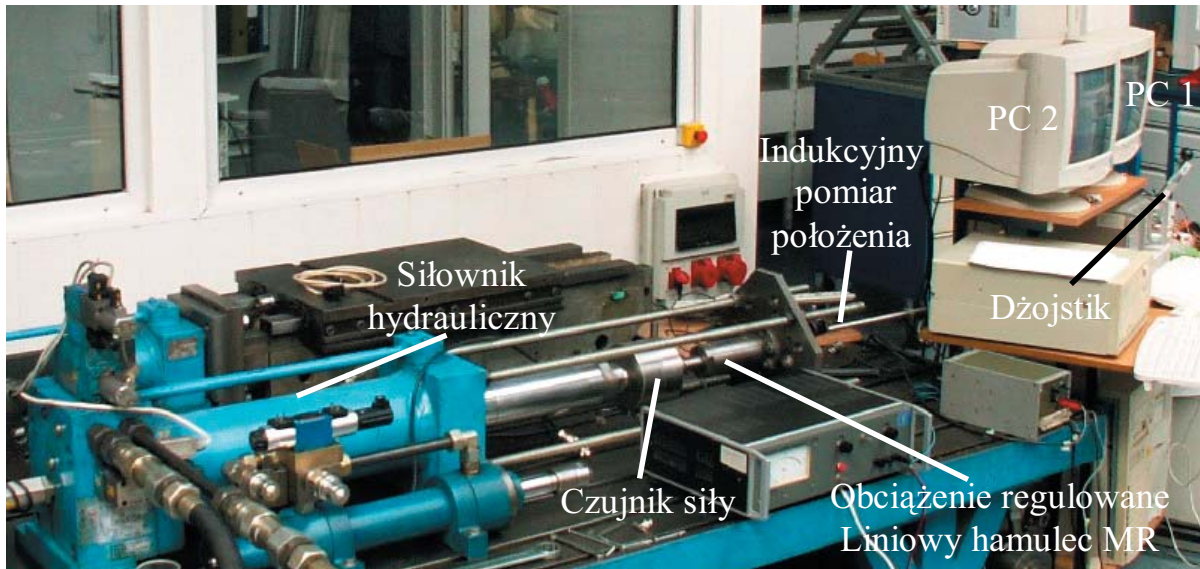
3. STEROWANIE NAPĘDEM ELEKTROHYDRAULICZNYM W UKŁADZIE Z DODATKOWYM SIŁOWYM SPRĘŻENIEM ZWROTNYM I DŻOJSTIKIEM DOTYKOWYM Z CIECZĄ MAGNETOREOLOGICZNĄ

Na podstawie badań symulacyjnych opisanych w publikacji [2] zauważono, że przy ściskaniu przez siłownik obiektu sprężystego, siła hamująca na dżojstiku wzrasta wraz ze wzrostem siły oporu na siłowniku oraz, że po uderzeniu siłownika w przeszkodę siła na siłowniku gwałtownie wzrasta, powodując wzrost siły hamującej dżojstika, co dla operatora



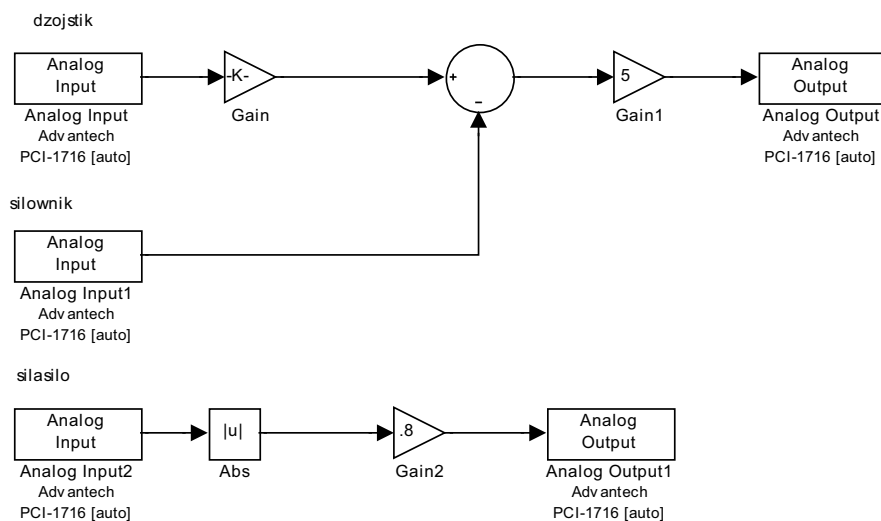
Rys. 6. Schemat blokowy układu sterująco-pomiarowego

mogłoby stanowić sygnał, do zatrzymania. Aby potwierdzić wyniki badań symulacyjnych zaprojektowano układ pomiarowy, w którym jako obciążenie siłownika zastosowano liniowy hamulec magnetoreologiczny z możliwością regulacji siły oporu. Do sterowania użyto komputer PC z kartą sterującą Advantech PCI 1716 i programem Matlab/Simulink z systemem czasu rzeczywistego (*Real Time Workshop*). Do pomiarów wykorzystano drugi komputer z kartą pomiarową DaqBoard 3000 i programem DasyLab. Schemat blokowy tego układu pokazano na rys. 6. Widok stanowiska badawczego przedstawia rys. 7. Operator siedzący przed komputerem nie miał możliwości obserwowania ruchu siłownika. W związku z tym, że sterowanie obciążeniem odbywało się poprzez ręczne włączenie odpowiedniego napięcia cewki liniowego hamulca magnetoreologicznego, podczas badań nie było możliwości sprawdzenia działania układu z obciążeniem sprężystym.



Rys. 7. Widok stanowiska pomiarowego

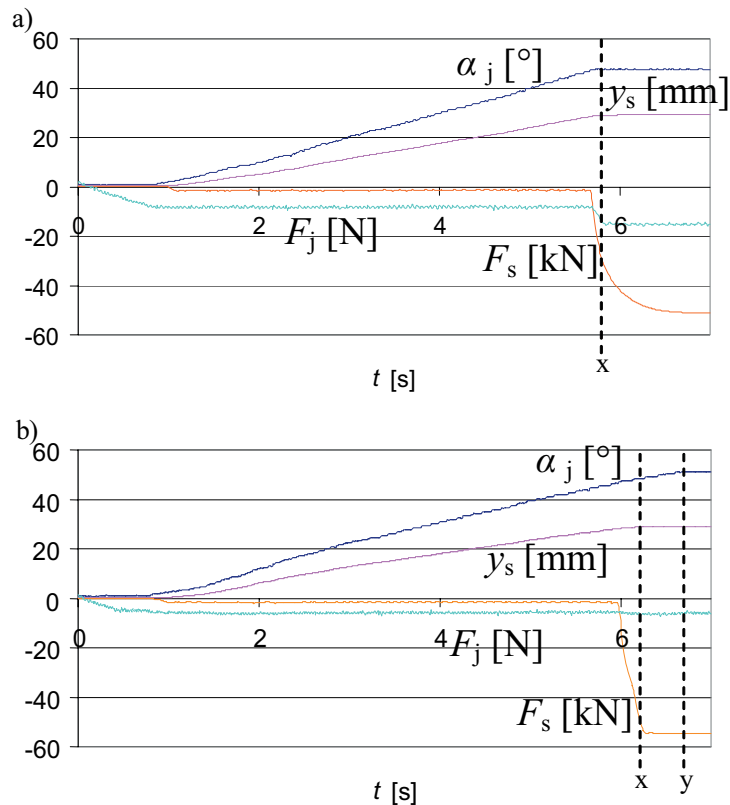
Przebadano przypadek, w którym tłoczyśko siłownika uderza w przeszkodę. Schemat układu sterowania wykonany w programie Simulink pokazany jest na rys. 8.



Rys. 8. Schemat układu sterowania wykonany w programie Simulink

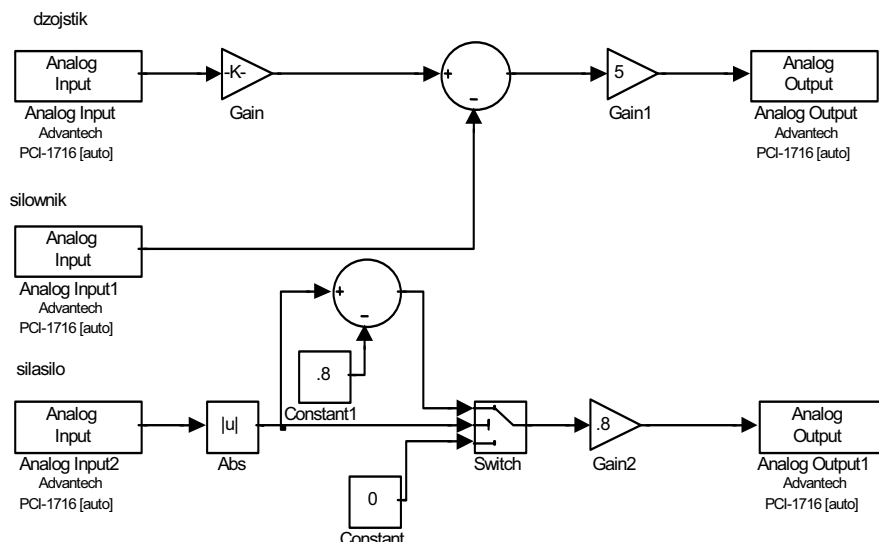
Na rys. 9a pokazano charakterystyki położenia i siły dźwójstika oraz siłownika w czasie z włączonym siłowym sprzężeniem zwrotnym. Linia oznaczona literą x pokazuje moment zatrzymania dźwójstika w chwili, gdy operator wyczuł większy opór dźwójstika po uderzeniu siłownika w przeszkodę. Na wykresie widać, że dźwójstik i siłownik zatrzymały się niemal w tym samym czasie. Rys. 9b pokazuje wyniki pomiarów bez dodatkowego siłowego sprzężenia zwrotnego. Przez cały czas pomiaru siła F_j równa była sile oporów własnych dźwójstika. Na tym wykresie widać, że dźwójstik zatrzymał się dopiero w chwili oznaczonej literą y , czyli około 0,5 s po zatrzymaniu siłownika (linia x). Operator nie wyczuł momentu uderzenia siłownika w przeszkodę. Zatrzymał dźwójstik dopiero po zaobserwowaniu innych symptomów spowodowanych wzrostem ciśnienia w układzie hydraulicznym po zatrzymaniu

się siłownika (wzrost natężenia dźwięku i wibracji). Różnica czasu zatrzymania dźwojstika w obu badanych przypadkach jest niewielka, gdyż ruch roboczy tłoczyska odbywał się zaledwie w zakresie do 60 mm, a operator siedział blisko całego urządzenia i z pewnym prawdopodobieństwem mógł się domyślić, kiedy siłownik może się zatrzymać. Można przypuszczać, że gdyby zakres ruchu i prędkość siłownika były większe, a stanowisko sterowania byłoby bardziej oddalone od napędu, różnice te też byłyby większe.



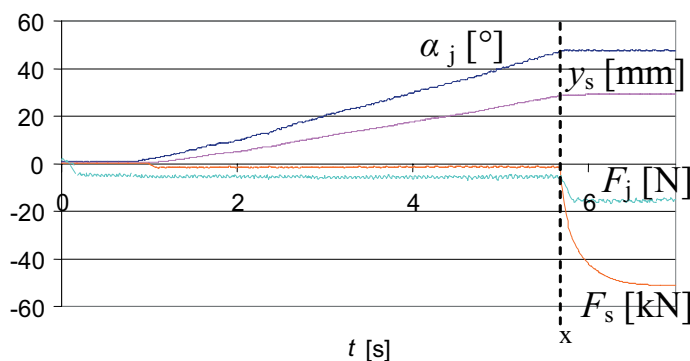
Rys. 9. Przebiegi czasowe siły i położenia siłownika oraz dźwojstika a) przy włączonym siłowym sprzężeniu zwrotnym, b) bez dodatkowego sprzężenia siłowego (F_s – siła siłownika, F_j – siła dźwojstika, y_s – położenie siłownika, α_j – położenie dźwojstika)

Następnie zaprojektowano i przebadano algorytm, w którym pomijane są opory magnetoreologicznego hamulca obciążającego przy wyłączonym napięciu cewki tego hamulca. Zastosowanie tego algorytmu umożliwiło zwiększenie zakresu odczuwanych przez operatora sił występujących na dźwigni dźwojstika. Schemat układu sterowania pokazany jest na rys. 10. Doświadczalnie ustalono, że siła oporu hamulca MR użytego jako obciążenie siłownika, przy wyłączonym napięciu wynosi 0,8 kN i w momencie ruchu siłownika jest ona odejmowana od wartości zmierzonej przy pomocy czujnika siły.



Rys. 10. Schemat układu sterowania z pominięciem oporów MR hamulca obciążającego bez włączonego napięcia wykonany w programie Simulink

Rys. 11 pokazuje charakterystyki wykonane podczas sterowania z wykorzystaniem wyżej opisanego algorytmu. Wyniki podobne są do przedstawionych na rys. 9a, z tym, że siła odczuwana na dźwostku podczas ruchu siłownika hydraulicznego z wyłączonym napięciem magnetoreologicznego hamulca obciążającego jest nieco mniejsza i odpowiada sile oporów własnych dźwostka (jak w przypadku z wyłączonym sprzężeniem zwrotnym rys. 9b).



Rys. 11. Przebiegi czasowe siły i położenia siłownika i dźwostka dla układu sterowania z pominięciem oporów obciążającego hamulca MR bez włączonego napięcia

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przytoczonych w artykule wyników badań można wywnioskować, że podczas pracy napędu elektrohydraulicznego w warunkach ograniczonej widoczności, dźwostek dotykowy i siłowe sprzężenie zwrotne mogą poprawić jakość sterowania położeniem tłoczyska. Stosując dźwostek dotykowy można zarówno wykrywać przeszkody stałe, jak i zmianę siły nacisku na przedmioty sprężyste. Praca w pętli z dodatkowym siłowym sprzężeniem zwrotnym może też zmniejszyć prawdopodobieństwo uszkodzenia urządzeń

hydraulicznych, nie dopuszczając do nagłych wzrostów ciśnienia w układzie podczas zderzeń hydraulicznego elementu roboczego z przeszkodą. Może też zapobiec zniszczeniu innych przedmiotów znajdujących się w polu pracy napędu, w które mógłby on ewentualnie uderzyć.

LITERATURA

- [1] Bachman P., Chciuk M.: Zastosowanie cieczy magnetoreologicznych w urządzeniach dotykowych, Seminarium naukowo-techniczne - TECHNICON '05: Targi Nauki i Techniki, Gdańsk 2005.
- [2] Bachman, P.; Milecki, A.: MR haptic joystick in control of virtual servo drive, 11th International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, Dresden 2008.
- [3] Milecki A., Ławniczak A.: Ciecze elektro- i magnetoreologiczne oraz ich zastosowania w technice, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
- [4] <http://www.forcedimension.com>
- [5] <http://www.immersion.com>
- [6] <http://www.lord.com>
- [7] <http://www.sensable.com>

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego KBN p.t.: „Konstrukcja i badania urządzeń zadających i dotykowych z cieczami magnetoreologicznymi i z siłowym sprzężeniem zwrotnym” nr 4 T07B 002 29