

Haptyczny interfejs asystujący z cieczą MR

Paweł Bachman, Piotr Gawłowicz

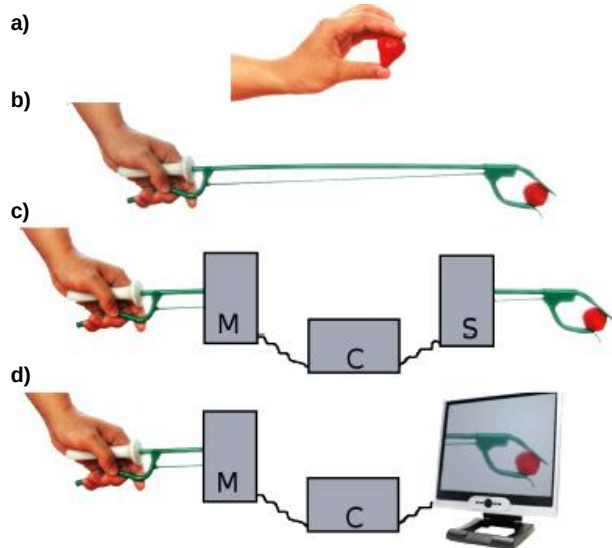
Uniwersytet Zielonogórski

Streszczenie: W artykule opisano układy sterowania z zastosowaniem urządzeń dotykowych oraz podstawowe własności cieczy magnetoreologicznych. Przedstawiono badania zależności momentu hamującego od prądu płynącego przez cewki hamulca magnetoreologicznego dźwistka. Kończącą część artykułu stanowi opis budowy i badań elektrycznego napędu liniowego z silnikiem prądu stałego, sterowanego przy pomocy dźwistka dotykowego z obrotowym hamulcem magnetoreologicznym.

Słowa kluczowe: urządzenia dotykowe, sterowanie, siłowe sprzężenie zwrotne, ciecz magnetoreologiczna

1. Wprowadzenie

Urządzenia dotykowe (ang. *haptic devices*) służą do przekazywania bodźców dotykowych ze sterowanego obiektu

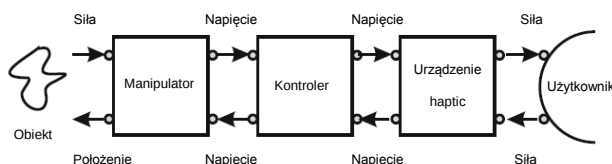


Rys. 1. Różne formy interakcji za pomocą dotyku [5]

Fig. 1. Different forms of interaction through sense of touch

do użytkownika. Bodźcem tym może być np. siła, kształt lub masa itp. [1, 2, 3].

Formy interakcji człowieka z przedmiotem za pomocą zmysłu dotyku opisano w publikacji [5]. Pierwszą z nich, widoczną na rys. 1a, jest kontakt bezpośredni, podczas którego człowiek dotyka przedmiot ręką. W przypadku widocznym na rys. 1b następuje kontakt pośredni, poprzez narzędzie. Na rys. 1c kontakt odbywa się również poprzez narzędzie, lecz na odległość, za pośrednictwem sterowników chwytaka (S – *slave*) oraz uchwytu (M – *master*) oraz specjalnego kontrolera (C). Taki typ kontaktu nazywany jest teleoperacją. W ostatnim przypadku na rys. 1d wi-

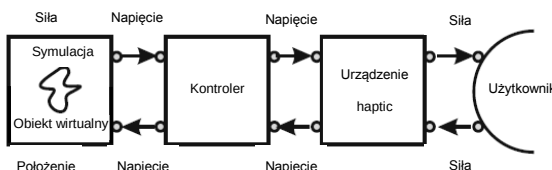


Rys. 2. Schemat interfejsu haptic w teleoperatorze [5]

Fig. 2. Diagram of the haptic interface for teleoperator

doczny jest przedmiot oraz chwytak zamodelowany na ekranie komputera. Taki rodzaj kontaktu nazywany jest pracą w wirtualnej rzeczywistości.

Schemat blokowy układu sterowania odpowiadający sytu-



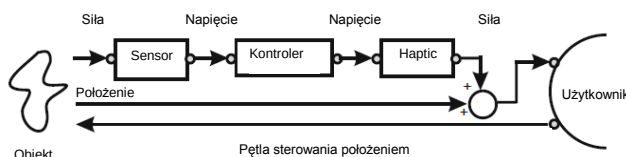
Rys. 3. Schemat interfejsu haptic współpracującego z wirtualną rzeczywistością [5]

Fig. 3. Diagram of the haptic interface for virtual reality

acji z teleoperacją (rys. 1c) pokazany jest na rys. 2.

Na rys. 3 przedstawiony jest schemat blokowy układu do współpracy z wirtualną rzeczywistością (jak na rys. 1d).

W publikacji [5] opisano jeszcze jeden możliwy układ pra-



Rys. 4. Schemat asystującego interfejsu haptic [5]

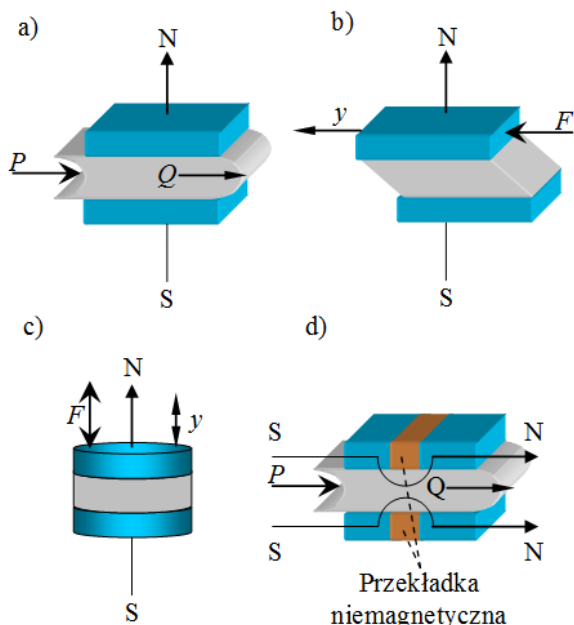
Fig. 4. Diagram of assistant haptic interface

cy interfejsu dotykowego. Jest to tzw. układ dotykowy asystujący, który zbudowany jest na bazie zwykłego układu regulacji (np. położeniem) z dodatkowym sygnałem informującym o sile, na jaką napotyka sterowane urządzenie, pochodzącym np. z siłowego sprzężenia zwrotnego (rys. 4). Właśnie taki układ zostanie zastosowany w niniejszym artykule do sterowania napędem prądu stałego z przekładnią liniową.

2. Układy z cieczą MR

Wyróżnia się cztery modele pracy układów z cieczą MR [4, 7, 9, 11, 12]:

Model zaworowy (ang. *valve mode*), w którym ciecz przepływa przez wąską szczelinę (rys. 5a), a poprzeczne pole magnetyczne poprzez zmianę naprężenia stycznego cieczy hamuje ten przepływ;



Rys. 5. Modele pracy cieczy MR: a) model zaworowy; b) model sprężelowy; c) ze ściskaniem cieczy; d) zaciskowy

Fig. 5. Operation modes of MR fluid: a) valve mode; b) direct shear mode; c) squeeze mode; d) pinch mode

Model sprężelowy (ang. *direct shear mode*), w którym ciecz MR umieszczona jest pomiędzy dwiema płaszczyznami, z których jedna jest nieruchoma, a druga przesuwana się w płaszczyźnie równoległej (rys. 5b). Ciecz MR poddawana jest w tym przypadku ścinaniu.

Model ze ściskaniem (rozciąganiem) cieczy (ang. *squeeze mode*) (rys. 5c), w którym ciecz umieszczona pomiędzy dwiema zbliżającymi się do siebie bądź oddalającymi płaszczyznami.

Model zaciskowy (ang. *pinch mode*) (rys. 5d), w którym, podobnie jak w modelu zaworowym, ciecz przepływa przez wąską szczelinę, z tym że linie pola magnetycznego skierowane są w tym wypadku równoległe do kierunku przepływu. Na skutek zastosowania przekładki niemagnetycznej linie pola zamykają się przez ciecz MR powodując zmniejszanie średnicy przewodu i hamowanie przepływu. W hamulcu magnetoreologicznym zastosowanym do budowy badanego w tym artykule dźwistka wykorzystywany jest model sprężelowy widoczny na rys. 5b.

3. Badanie hamulca MR

Do budowy dźwistka użyto hamulec MR, który widoczny jest na rys. 6. Po wypełnieniu przestrzeni pomiędzy cew-

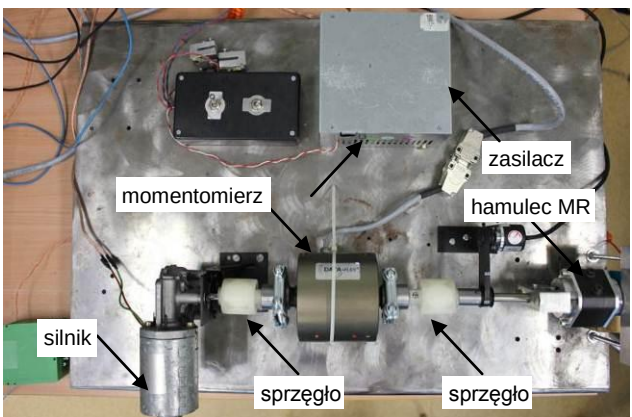
kami (rys. 6a) masą uszczelniającą wirnik umieszczono w stojanie (rys. 6b) i zalano cieczą MR, na osi umieszczono po obu stronach oringi uszczelniające i po uszczelnieniu połączenia pomiędzy korpusem a pokrywką skrócono obie części śrubami.



Rys. 6. Budowa hamulca MR: a) widok cewek, b) wnętrze hamulca, c) widok zewnętrzny

Fig. 6. Construction of MR Brake: a) view of the coils, b) the interior of the brake, c) exterior view

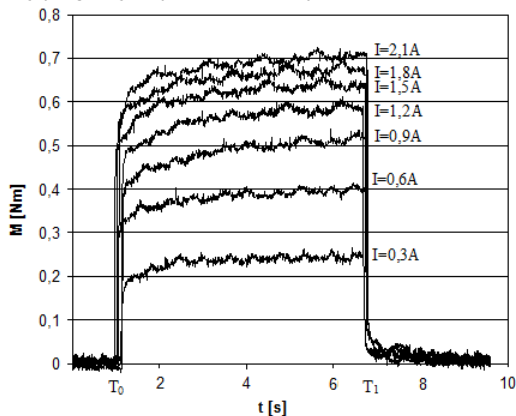
Badania wykonano na stanowisku wyposażonym w optyczny momentomierz dynamiczny firmy KTR DATA-FLEX 22/20. Widok stanowiska pomiarowego przedstawiony jest na rys. 7.



Rys. 7. Widok stanowiska pomiarowego

Fig. 7. View of measuring stand

Pomiary wykonywane były przy pomocy komputera PC z kartą RT-DAC. Częstotliwość próbkowania 100 sampli/sekundę. Czas T_0 odpowiadał włączeniu hamulca, T_1 – wyłączeniu (rys. 8). Maksymalna wartość momentu hamującego, jaką można otrzymać dla poszczególnych

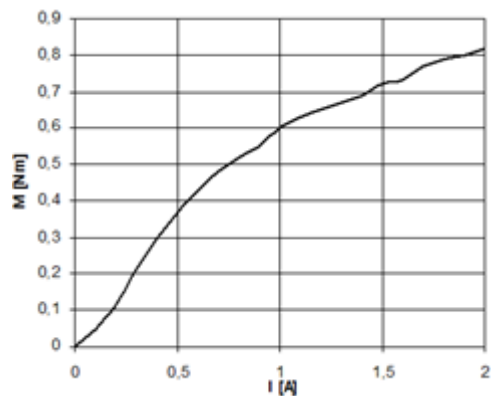


Rys. 8. Odpowiedzi skokowe hamulca MR dla różnych prądów

Fig. 8. MR brake step response for different currents

prądów jest nieco większa (rys. 9), ponieważ odczyt odbywał się dopiero po nasyceniu się układu i ustabilizowaniu wartości momentu, co miało miejsce po znacznie dłuż-

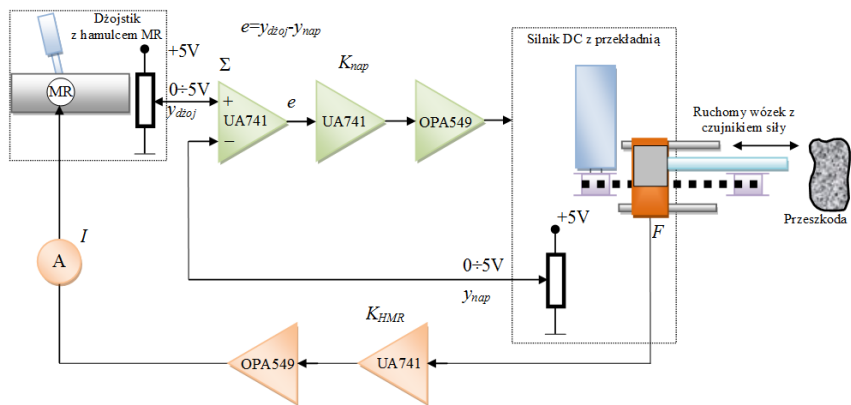
szym czasie (około 20 s), niż pokazany na rys. 8. W dżojstiku, aby zwiększyć moment hamujący zastosowano przekładnię zębatą zwiększającą moment trzykrotnie.



Rys. 9. Zależność momentu hamującego hamulca od prądu
Fig. 9. The brake braking torque from current dependence

4. Opis budowy stanowiska badawczego

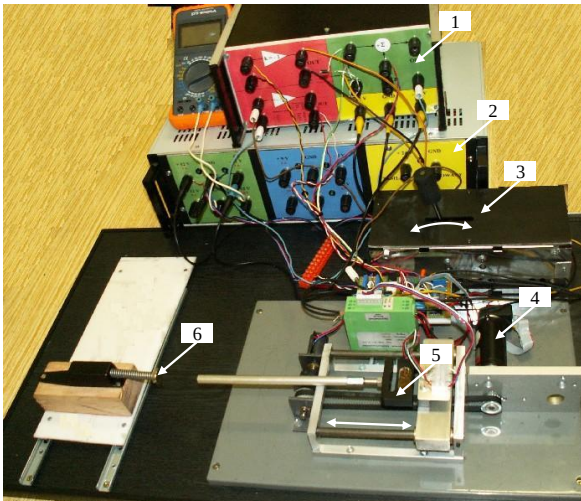
Rys. 10 przedstawia uproszczony schemat elektryczny stanowiska. Składa się on z dwóch układów. Pierwszy z nich to układ sterowania położeniem napędu, w skład którego wchodzi potencjometry pomiaru położenia dżojstika $y_{dżoj}$ i napędu elektrycznego y_{nap} , sumator wytwarzający uchyb regulacji (uA741), regulator proporcjonalny (uA741) oraz operacyjny wzmacniacz mocy sterujący silnikiem DC (OPA549).



Rys. 10. Uproszczony schemat elektryczny stanowiska
Fig. 10. Simplified electrical diagram of the measuring system

Drugi układ odpowiada za sterowanie hamulcem MR. Składa się on z czujnika siły umieszczonego na ruchomym elemencie napędu elektrycznego oraz regulatora proporcjonalnego (uA741) i operacyjnego wzmacniacza mocy (OPA549) sterującego napięciem podawanym na cewki hamulca MR.

Widok stanowiska z dżojstikiem 3 i badanym napędem 4 przedstawiony jest na rys. 11. Silnik DC z przekładnią, poprzez koło pasowe porusza w nim „wózek” umieszczony na prowadnicach. Na wózku tym zamontowany jest czujnik siły z końcówką 5 uderzający w przeszkodę 6. Wzmacniacze mocy umieszczone są w obudowie 1 a zasilacz w 2.



Rys. 11. Widok stanowiska badawczego
Fig. 11. View of the research station

5. Badań napędu DC z asystującym interfejsem haptic

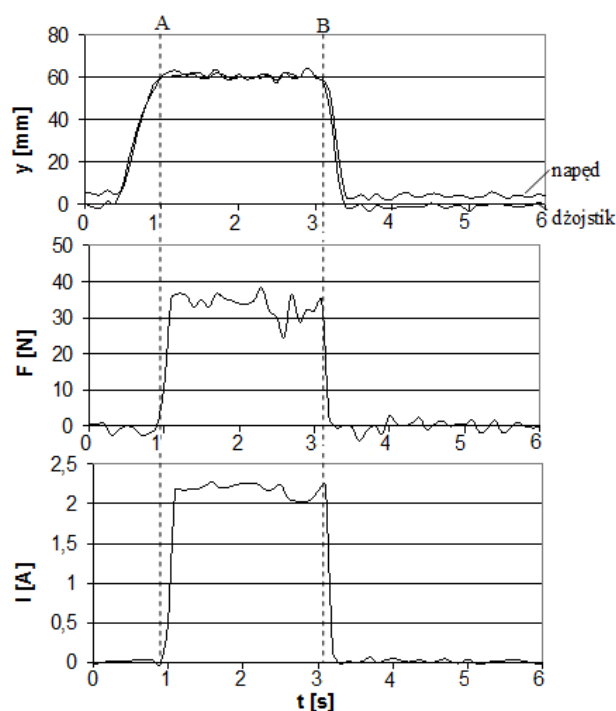
Podobnie jak w pkt. 3 pomiary wykonywane były przy pomocy wejść analogowych karty RT-DAC z programem Matlab. Sygnałami mierzonymi były napięcie wejściowe (przeliczone w programie na prąd), siła oraz położenie dżojstika i napędu elektrycznego. Mierzone wartości zapamiętywano w postaci danych tekstowych w pamięci Matlab, a następnie eksportowano do programu Excel. Badania wykonano dla trzech różnych rodzajów obciążenia.

5.1. Badanie zderzenia napędu z przeszkodą stałą

W tym przypadku (rys. 12) widać, że napęd porusza się do momentu, aż uderzy w przeszkodę (na rysunku oznaczone linią przerywaną A). Wtedy zatrzymuje się, a czujnik siły wytwarza napięcie, które po przejściu przez regulator podawane jest na cewki hamulca MR powodując blokadę dżojstika. W momencie cofnięcia dżojstika (linia przerywana B), siła maleje i możliwe jest dalsze poruszanie dżojstikiem.

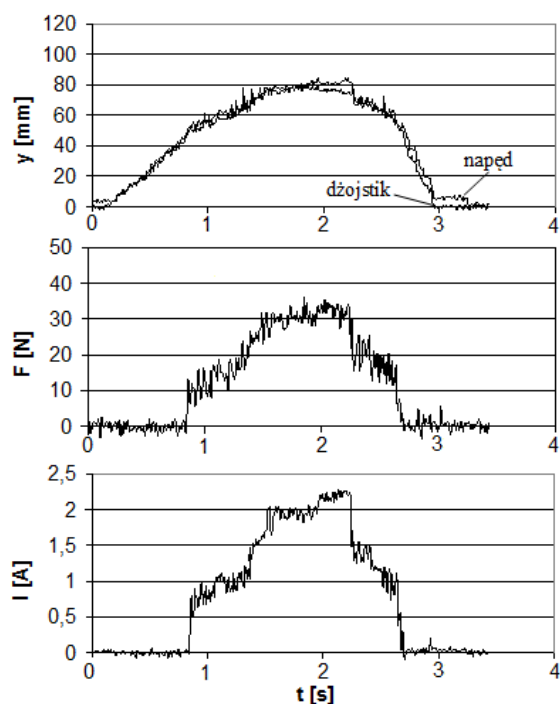
5.2. Badanie ściskania sprężyny

W przypadku, gdy napęd ściska sprężynę (rys. 13) prąd płynący przez cewki hamulca MR jest proporcjonalny do siły nacisku, a osoba sterująca dżojstikiem wyczuwa narastający opór. W momencie cofnięcia dżojstika siła zmniejsza się, a opór dżojstika stopniowo maleje.



Rys. 12. Przebiegi w układzie podczas zderzenia napędu z przeszkodą stałą

Fig. 12. Courses in the system during the drive collision with the constant obstacle

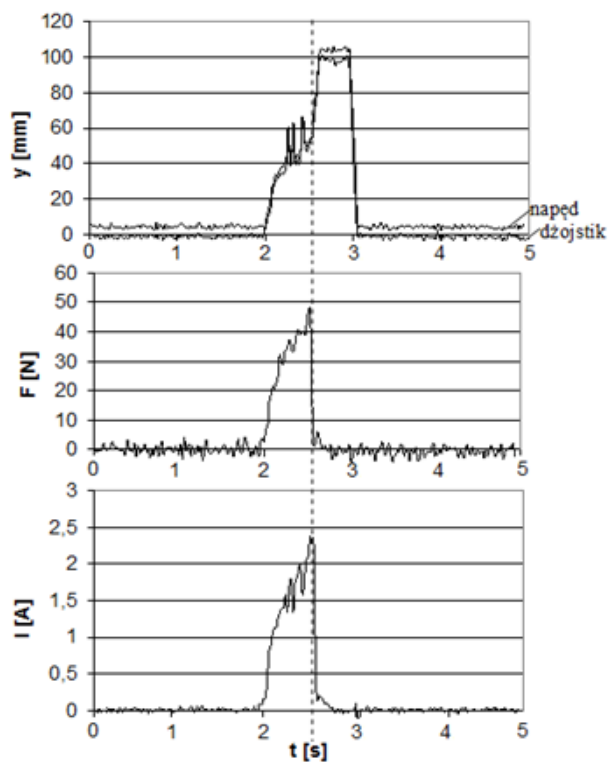


Rys. 13. Przebiegi w układzie podczas ściskania sprężyny

Fig. 13. Courses in the system during the springs compression

5.3. Badanie procesu przerywania materiału

W trzecim przypadku końcówka napędu miała za zadanie rozerwać folię (rys. 14). W związku z tym, że jest to materiał elastyczny, w początkowej fazie zrywania folia rozciągała się i stawiała spory opór. Wyczuwalne to było jako



Rys. 14. Przebiegi w układzie podczas rozrywania materiału

Fig. 14. Courses in the system during the rupture of the material

wzrost siły hamującej dźwójstika. W momencie przerywania (zaznaczone linią przerywaną) siła i prąd płynący przez hamulec MR zmalały do zera, a osoba sterująca przestała wyczuwać opór.

6. Zakończenie

Mimo, że zbudowane urządzenie posiada niewielkie wady: np. silnik nie osiąga precyzyjnie położenia zadanego (np. rys. 12), podczas ściskania sprężyny oraz rozrywania występują w napędzie oscylacje, spowodowane zastosowaniem do sterowania prostego regulatora (rys. 13, rys. 14), z powyższych badań można wywnioskować, że zbudowane na bazie hamulca MR półaktywne urządzenie dotykowe nadaje się do przekazywania operatorowi sił występujących w układzie za pomocą zmysłu dotyku. Obecnie prowadzone są prace badawcze nad budową aktywnych urządzeń dotykowych mogących znaleźć zastosowanie do sterowania w szerokiej gamie układów, zarówno elektrycznych jak i elektrohydraulicznych.

Bibliografia

1. Bachman P., Chciuk M., *Zastosowanie cieczy magneto-reologicznych w urządzeniach dotykowych*. Seminarium naukowo-techniczne - TECHNICON '05: targi nauki i techniki, Gdańsk, 2005.
2. Bachman P., *Zastosowanie dżojstika dotykowego z cieczą magneto-reologiczną do sterowania wirtualnego modelu napędu hydraulicznego*. Pomiar, Automatyka, Robotyka no 2, Warszawa 2008.
3. Chciuk M., *Sterowanie ramieniem robota przy pomocy wieloosiowego dżojstika dotykowego z cieczą magneto-reologiczną i siłowym sprzężeniem zwrotnym*. Pomiar, Automatyka, Robotyka no 2, Warszawa 2008.
4. Heinonen J., *Preliminary Study of Modelling Dynamic Properties of Magnetorheological Fluid Damper*. online <http://www.vtt.fi/>.
5. Kern T. A., *Engineering - Haptic devices*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009
6. Klomp F.M., *Haptic Control for Dummies: An introduction and analysis*. Master's Thesis, Eindhoven, August, 2006.
7. Lewandowski D., *Właściwości tłumiące kompozytów magneto-reologicznych. Badania, modele, identyfikacja*. praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2005.
8. Milecki A., *Liniowe serwonapędy elektrohydrauliczne*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2003.
9. Milecki A., Ławniczak A., *Ciecze elektro- i magneto-reologiczne oraz ich zastosowania w technice*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1999.
10. Milecki A., *Wybrane metody poprawy właściwości liniowych serwonapędów elektrohydraulicznych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1999.
11. Myszkowski A., *Konstrukcja i badania hamulca wahadłowego z cieczą magneto-reologiczną*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 2007.
12. <http://www.lord.com>

Haptic assisting interface with the MR fluid

Abstract: The paper control systems using haptic devices and the basic properties of magneto-rheological fluids described. The study braking torque depending of current flowing through the magnetorheological brake coil are presented. The final part of the article construction and testing of electric linear actuator with DC motor controlled with a haptic joystick with magnetorheological rotary brake described.

Keywords: haptic device, control, force feedback, magnetorheological fluid

mgr inż. Paweł Bachman

Asystent w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Zainteresowania: mechatronika, sterowanie. Jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.

e-mail: P.Bachman@eti.uz.zgora.pl



dr Piotr Gawłowicz

Starszy wykładowca Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Zainteresowania: robotyka, mechatronika, sztuczna inteligencja.

e-mail: P.Gawłowicz@eti.uz.zgora.pl



Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy pt. "Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do nadzorowania pracy urządzeń mechatronicznych z napędami elektrohydraulicznymi sterowanymi bezprzewodowo"