

# Badania symulacyjne odtwarzania sygnału w bezprzewodowym układzie sterowania napędem elektrohydraulicznym z dżojstikiem haptic

Paweł Bachman\*, Marcin Chciuk\*, Andrzej Milecki\*\*

\*Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski,

\*\*Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska

**Streszczenie:** W artykule opisano system sterowania serwonapędem elektrohydraulicznym przez operatora, za pośrednictwem dżojstika z siłowym sprzężeniem zwrotnym. Ze względu na zamiar zastosowania łączności bezprzewodowej utworzono w środowisku MATLAB/Simulink model symulacyjny całego systemu. Przeprowadzono badania symulacyjne zachowania się układu w przypadku chwilowej utraty łączności. Zaproponowano i zamodelowano algorytm estymacji transmitowanej informacji na podstawie różniczkowania sygnału sterowania. Badania symulacyjne pokazały, że zaproponowany algorytm jest skuteczny dla badanych przypadków przebiegu sygnału i zabezpiecza napęd przed skokowymi zmianami sygnału sterującego w czasie zaniku transmisji.

**Słowa kluczowe:** serwonapęd, sterowanie bezprzewodowe, estymacja sygnału

## 1. Wprowadzenie

W układach sterowania można wyróżnić dwa sposoby przekazywania sygnałów. Pierwszym z nich jest przesyłanie przewodowe, do którego można zaliczyć bezpośrednie połączenia przewodowe oraz połączenia za pośrednictwem urządzeń sieciowych (np. w sieci lokalnej lub internet) wykorzystujących specjalne protokoły przesyłania danych. Zapewniają one duże bezpieczeństwo danych i dużą przepustowość (np. sieci światłowodowe) oraz odporność na zakłócenia. Ich wadą jest konieczność układania dużej liczby przewodów i mała elastyczność podczas rekonfiguracji układów. Drugą metodą komunikacji to przesyłanie bezprzewodowe za pomocą fal radiowych (mikrofal o częstotliwości GHz). Można tutaj wyróżnić różne systemy np. sieć bezprzewodowa Wi-Fi, sieć GSM a także powstała w ostatnich dziesięciu latach sieć ZigBee. Systemy bezprzewodowe charakteryzują się dużą elastycznością lecz nie są odporne na zakłócenia. W artykule zaproponowano algorytm, który zmniejsza skutki zaniku sygnału podczas transmisji, aproksymując utracone dane.

## 2. Koncepcja sterowania bezprzewodowego

W ITM PP od kilku lat prowadzone są badania serwonapędów elektrohydraulicznych sterowanych za pośrednictwem dżojstików typu haptic [3–7]. W następnym kroku zaplanowano zastosowanie łączności bezprzewodowej, wykorzystując moduły RAVEN ZigBee firmy AVR [1] (rys. 1) do połączenia dżojstika z serwonapędem elektrohydraulicznym. Omawiany

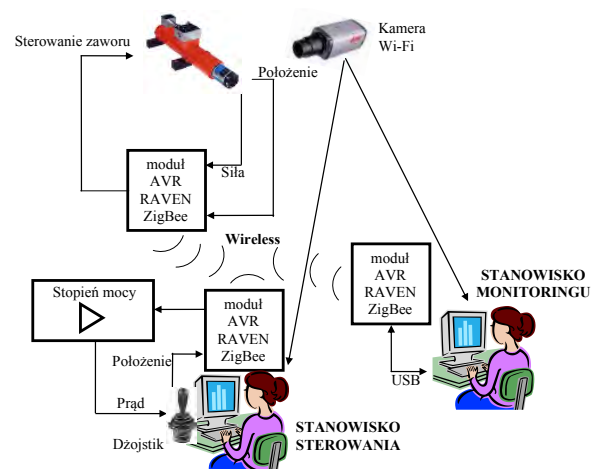


Rys. 1. Widok modułów RAVEN ZigBee firmy AVR [1]

Fig. 1. View of RAVEN ZigBee AVR firms modules [1]

zestaw składa się z dwóch modułów mikrokontrolerowych zawierających układ komunikacji 2,4 GHz z procesorem picoPower AVR oraz wyświetlaczem LCD oraz jeden moduł USB pełniący rolę serwera, który pozwala na podłączenie zestawu do komputera. Zestaw pracuje wykorzystując protokoły IEEE 802.15.4, 6LoWPAN i ZigBee. Zawiera on również pakiet oprogramowania PC do konfiguracji sieci bezprzewodowej, kontroli, analizy i programowania modułów przez sieć (*over-the-air*).

Schemat sterowania serwonapędem elektrohydraulicznym z zastosowaniem interfejsu dotykowego pracujących w sieci ZigBee widoczny jest na rys. 2.



Rys. 2. Schemat sterowania serwonapędem elektrohydraulicznym z zastosowaniem interfejsu dotykowego w sieci ZigBee

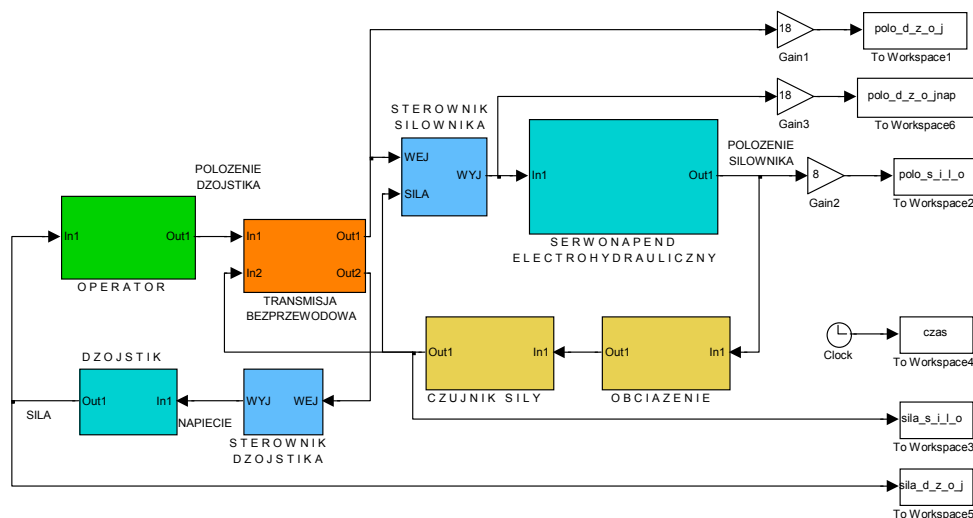
Fig. 2. Control scheme of electro-hydraulic servo-drive using the haptic interface on a ZigBee network

### 3. Układ symulacyjny zaniku sygnału

Schemat symulacyjny sterowania serwonapędem elektrohydraulicznym z zastosowaniem interfejsu dotykowego pokazano na rys. 3. W jego skład wchodzi model serwonapędu elektrohydraulicznego i dźwostka dotykowego, opisane bliżej w publikacji [2]. Kolejnymi elementami systemu są bloki: operatora, w którym generowany jest sygnał sterujący położeniem dźwostka oraz blok obciążenia, symulujący siłę obciążającą siłownik. W bloku transmisji bezprzewodowej (rys. 4) modelowana jest chwilowa przerwa w transmisji i zanik sygnału położenia dźwostka (sterującego modelem serwonapędu elektrohydraulicznego) oraz siły (sterującego

dane. Równocześnie też sprawdzana jest wartość siły. Jeżeli nie przekroczy ona zadanej wartości, na wyjściu regulatora pojawia się suma  $W+R$ . Natomiast po jej przekroczeniu (oznacza to, że siłownik napotkał na przeszkodę), na wyjściu regulatora podawany jest sygnał równy ostatniej zapamiętanej wartości  $W$  (siłownik jest zatrzymany). Algorytm działania regulatora pokazany jest na rys. 6.

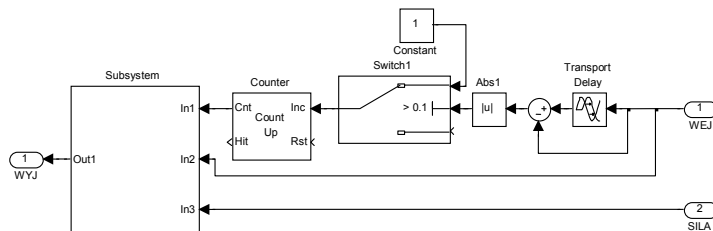
Regulator składa się z dwóch podstawowych bloków. Pierwszy z nich pokazano na rys. 5. Badana w nim jest wartość bezwzględna różnicy sygnału odbieranego w dwóch kolejnych krokach. Jeżeli przekroczy ona zadany próg, to oznacza, że podczas zaniku transmisji nastąpił gwałtowny skok tego sygnału i na wyjściu układu generowany jest lo-



Rys. 3. Schemat symulacyjny sterowania serwonapędem elektrohydraulicznym z zastosowaniem interfejsu dotykowego

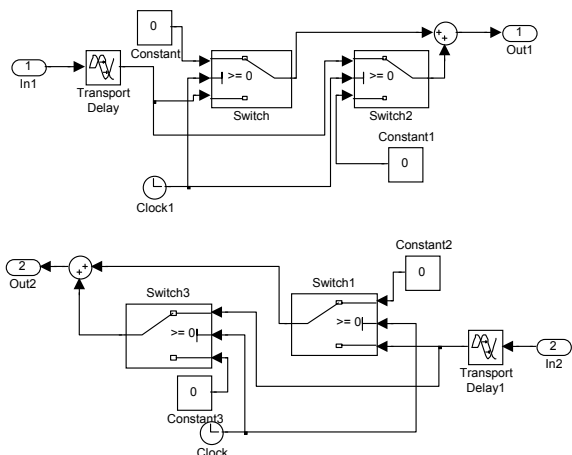
Fig. 3. Simulation control scheme of electro-hydraulic servo-drive using the haptic interface

hamulcem magneto-reologicznym dźwostka). Elementami, w których „odzyskiwane” są utracone sygnały, są sterowniki hamulca magneto-reologicznego oraz siłownika. Podczas procesu sterowania w sterownikach tych na bieżąco zapamiętywana jest ostatnia wartość sygnału  $W$  oraz obliczana jest różnica dwóch ostatnich wartości sygnału  $R$ . Jednocześnie sprawdzana jest transmisja. W przypadku jej zaniku układ przełącza się w tryb pracy odzyskujący



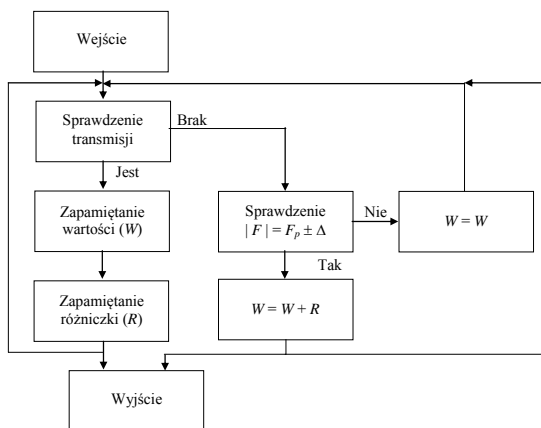
Rys. 5. Układ wykrywania zaniku transmisji

Fig. 5. Transmission fading detection system



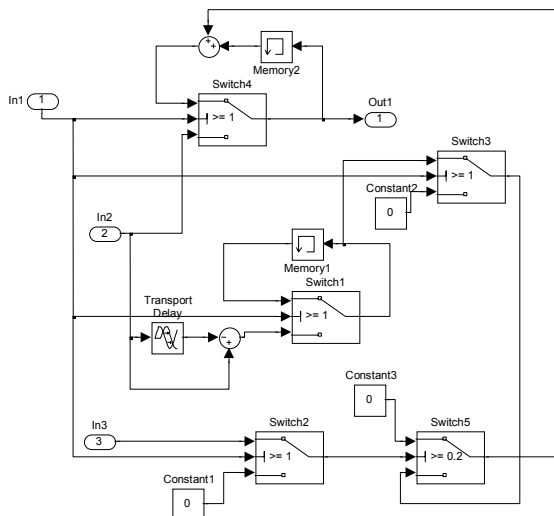
Rys. 4. Schemat symulacyjny transmisji radiowej

Fig. 4. Simulation scheme of radio transmission



Rys. 6. Algorytm działania regulatora

Fig. 6. The algorithm of the controller



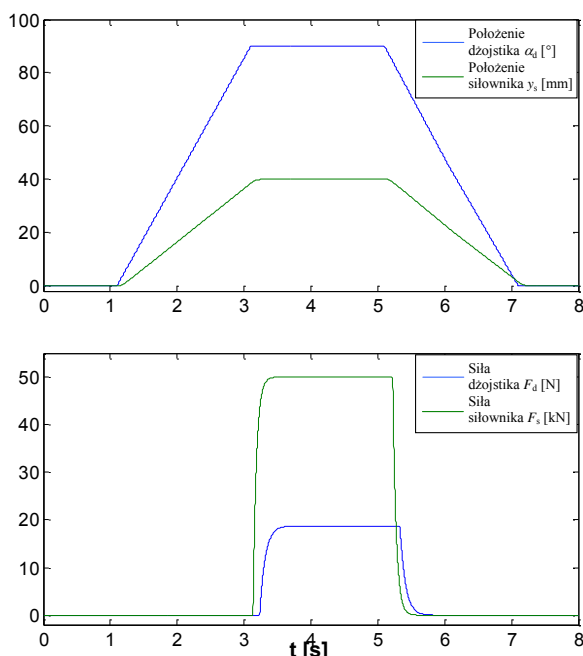
**Rys. 7.** Układ zapamiętywania wartości  $W$  oraz obliczania zapamiętywania różniczki sygnału  $R$

**Fig. 7.** Circuit for recording the  $W$  value and calculating and recording of the differential value of  $R$

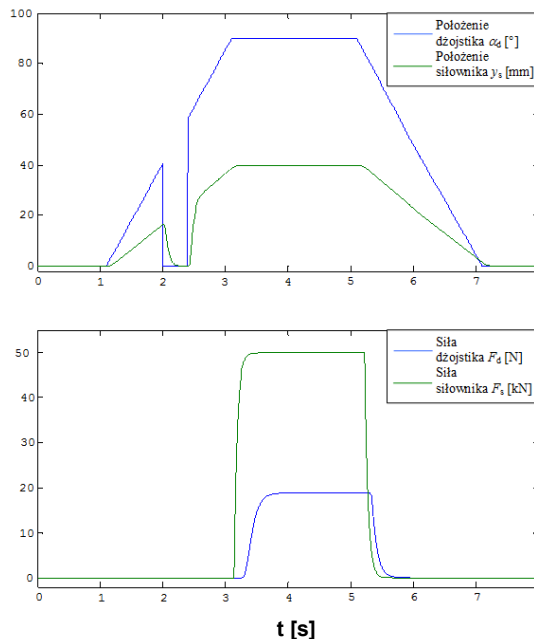
giczny sygnał wysoki, który przełącza tryb pracy regulatora. W przeciwnym wypadku (obecność transmisji) generowany jest stan niski. Drugi blok regulatora pokazano na rys. 7. Zawiera on pętle z komórkami pamięci i odpowiada za zapamiętywanie wartości  $W$  oraz obliczanie i zapamiętywanie różniczki sygnału  $R$ . Na rys. 5 układ ten został umieszczony w bloku *Subsystem*.

### 4. Wyniki pomiarów

Podczas badań symulacyjnych pod uwagę były brane cztery sygnały: położenia kąтового dźwostki, położenia siłownika, siły generowanej przez siłownik oraz siły oporu na dźwostku. Przebiegi tych sygnałów w układzie bez zaniku transmisji pokazane są na rys. 8.



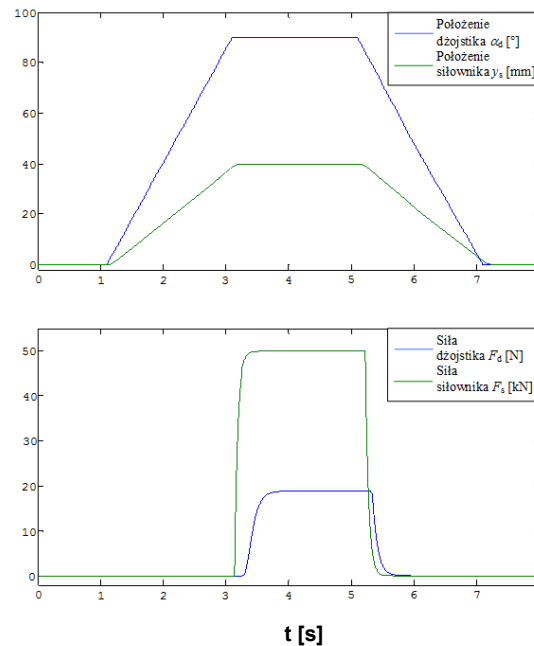
**Rys. 8.** Sygnały w układzie bez zaniku transmisji  
**Fig. 8.** The signals in the system without transmission lose



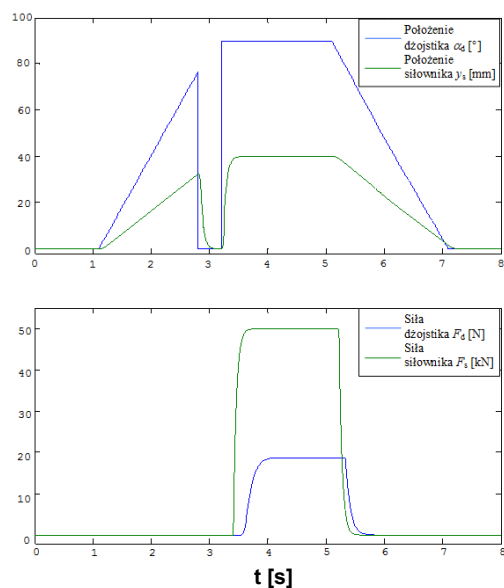
**Rys. 9.** Sygnały w układzie z zanikiem transmisji od 2 do 2,4 s  
**Fig. 9.** The signals in the system with fading transmission from 2 to 2,4 s

W kolejnych badaniach zmieniono układ symulacyjny transmisji radiowej tak, żeby zbadać jak na zachowanie się systemu wpłyną zaniki sygnału w różnych przedziałach czasowych. Przykładowe przebiegi z zanikiem transmisji od 2 do 2,4 s pokazano na rys. 9.

Na rys. 10 przedstawiono natomiast przebiegi odtworzone w układzie regulacji. Dzięki temu, że przerwa w transmisji nastąpiła w liniowo narastającej części przebiegu, to został on całkowicie zrekonstruowany i przebieg niczym nie różni się od wzorca z rys. 8.

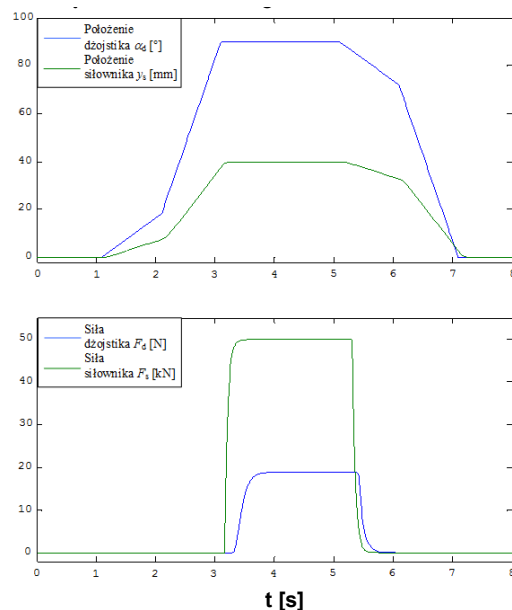


**Rys. 10.** Odtworzone sygnały w układzie z zanikiem transmisji od 2 do 2,4 s  
**Fig. 10.** The reconstructed signals in the system with fading transmission from 2 to 2,4 s



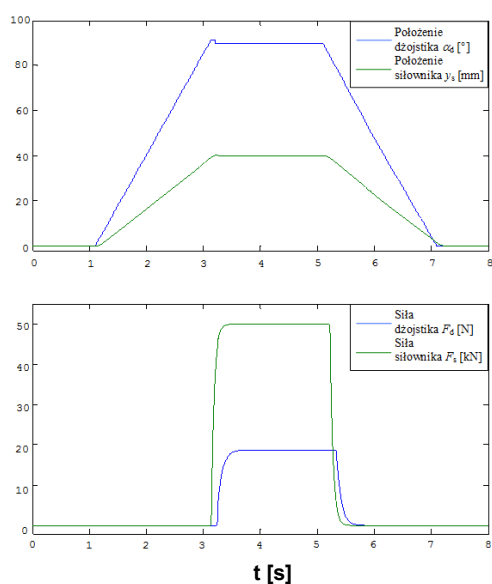
Rys. 11. Sygnały w układzie z zanikiem transmisji od 2,8 do 3,2 s

Fig. 11. The signals in the system with fading transmission from 2,8 to 3,2 s



Rys. 13. Sygnały w układzie bez zaniku transmisji

Fig. 13. The signals in the system without fading transmission

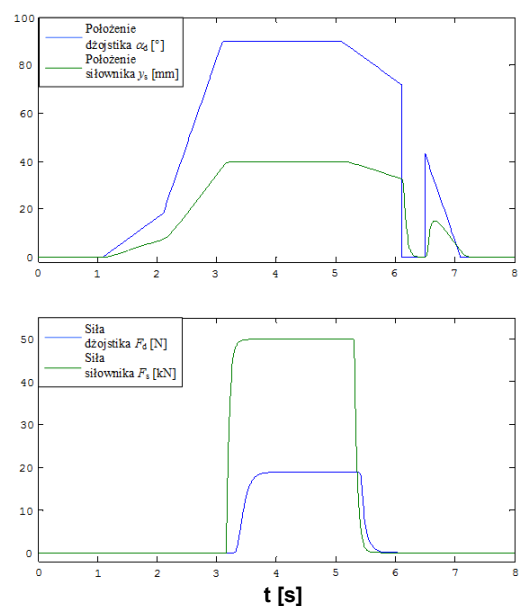


Rys. 12. Odtworzone sygnały w układzie z zanikiem transmisji od 2,8 do 3,2 s

Fig. 12. The reconstructed signals in the system with fading transmission from 2,8 to 3,2 s

Następnie sprawdzono zachowanie się układu gdy transmisja zaniknie na załamaniu się krzywej (od 2,8 do 3,2 s). Przebiegi sygnałów dla tego przypadku pokazane są na rys. 11 i 12. W tym przypadku sygnał zrekonstruowany tylko niewiele różni się od niezakłóconego.

Kolejnym etapem badań algorytmu „odzyskującego” dane było sprawdzenie, jak zachowa się on podczas zaniku transmisji przy bardziej odkształconym sygnale sterującym (rys. 13). Na rys. 14 widoczne są sygnały zarejestrowane w układzie podczas zaniku transmisji w czasie od 6,1 do 6,5 s. Na rys. 15 pokazane są te same sygnały po ich „odzyskaniu” przez algorytm. W tym przypadku widać już nieco większą różnicę w kształcie przebiegów. Mimo to sygnał



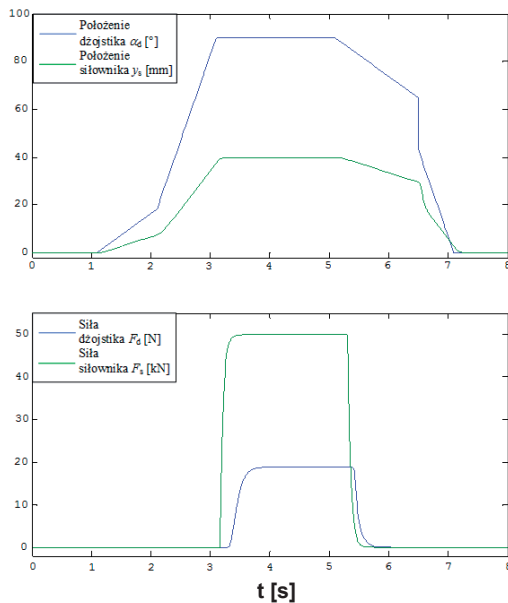
Rys. 14. Sygnały w układzie z zanikiem transmisji od 6,1 do 6,5 s

Fig. 14. The signals in the system with fading transmission from 6,1 to 6,5 s

zrekonstruowany dość dobrze odpowiada niezakłóconemu. Dzięki temu przebieg zmian położenia tłka siłownika jest bardzo zbliżony do przebiegu uzyskanego, gdy transmisja nie była przerwana.

## 5. Podsumowanie

Analizując zamieszczone w artykule wyniki pomiarów symulacyjnych można zauważyć, że bez względu na to, w jakim „miejscu” przebiegu i niezależnie od kształtu sygnału sterującego występującego podczas zaniku transmisji, „odzyskany” sygnał był zawsze bardzo zbliżony do oryginalnego.



**Rys. 15.** Odtworzone sygnały w układzie z zanikiem transmisji od 6,1 do 6,5 s

**Fig. 15.** The reconstructed signals in the system with fading transmission from 6,1 to 6,5 s

Zastosowanie w sterowaniu opisanego wyżej algorytmu powoduje znaczną poprawę zachowania się badanego układu w przypadku zaniku transmisji. Zmniejszone zostały nagłe skoki zmian położenia tłoka siłownika przy zaniku transmisji. Algorytm opisany w artykule można stosować nie tylko w transmisji bezprzewodowej, ale również w transmisjach przewodowych w układach telemanipulatorów, na wypadek przerwania przewodów łączących współpracujące urządzenia. W dalszych pracach opisany algorytm zostanie zweryfikowany w badaniach doświadczalnych.

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

## Bibliografia

1. [www.atmel.com] – Atmel Corporation.
2. Chciuk M., Bachman P., Milecki A.: *Modelowanie serwonapędu elektrohydraulicznego sterowanego dźwostkiem typu haptic*. 3<sup>rd</sup> International Conference – MANUFACTURING 2010: contemporary problems of manufacturing and production management, Poznań 2010.
1. Bachman P.: *Silowe sprzężenie zwrotne w hydraulice*. „Hydraulika i Pneumatyka”, nr 2/2009, 9–11.
2. Chciuk M., Milecki A., Myszkowski A.: *Applications of magnetorheological brakes in manual control of lifting devices and manipulators*. „Journal of Physics: Conference Series”, 2009, Vol. 149.
3. Gawłowicz P., Bachman P., Chciuk M.: *Interfejsy dotykowe jako sposób komunikowania się człowieka z maszyną*, Wybrane problemy środowiska pracy i gospodarki, red.

nauk. M. Rybakowski, J. Stebila, Zielona Góra: Wydaw. Nauk. Polskiego Tow. Profesjologicznego, 2010, 117–127.

4. Milecki A., Bachman P., Chciuk M.: *Control of a small robot by haptic joystick with magnetorheological fluid*. Mechatronic Systems and Materials – MSM 2011: 7<sup>th</sup> International Conference. Kaunas, Litwa, 2011.
5. Milecki A., Bachman P., Chciuk M.: *Wykrywanie kolizji w teleoperatorze z interfejsem dotykowym i systemem wizyjnym*. Pomiary Automatyka Robotyka, 2/2010, 655–661.

## The control of active haptic joystick HapticUZ 1-DOF/DC

**Abstract:** The article electro-hydraulic servo control system by the operator via a joystick with force feedback describes. Given the intention to use wireless communication, built in MATLAB/Simulink simulation model of the system. Conducted simulation studies the behavior of the system in case of temporary loss of connectivity. Algorithm estimates based on information transmitted differential signal previously received is proposed and modeled. Simulation studies have shown that the proposed algorithm is effective for the studied cases signal loss and protects the drive against step signal changes.

**Keywords:** servo drive, wireless control, signal estimation

### prof. dr hab. inż. Andrzej Milecki

Profesor zwyczajny w Instytucie Technologii Mechanicznej, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Kierownik Zakładu Urządzeń Mechatronicznych. Specjalność naukowa: budowa i eksploatacja maszyn, mechatronika, elektrohydraulika, automatyzacja maszyn.

e-mail: [andrzej.milecki@put.poznan.pl](mailto:andrzej.milecki@put.poznan.pl)



### 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](mailto:P.Bachman@eti.uz.zgora.pl)



### mgr Marcin Chciuk

Asystent w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Zainteresowania: mechatronika, sterowanie.

e-mail: [M.Chciuk@eti.uz.zgora.pl](mailto:M.Chciuk@eti.uz.zgora.pl)

