

System automatycznego przezbrajania stanowiska pakowania robotem przemysłowym

Stanisław Lis, Marcin Tomasiak

Uniwersytet Rolniczy, Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych, ul. Balicka 116, 30-149 Kraków

Magdalena Dróżdź

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Nauk o Żywności, ul. Chełmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław

Streszczenie: W artykule przedstawiono założenia projektowe dla systemu automatycznego przezbrajania stanowiska pakowania robotem przemysłowym. Przez przezbrojenie rozumiana jest automatyczna zmiana podciśnienia chwytaka w funkcji masy przenoszonego detalu. Skonstruowano stanowisko badawcze z systemem pomiarowym. Dla omówienia właściwości dynamicznych obiektu określono charakterystykę skokową. Projektowany system opisano za pomocą symulacyjnego modelu transmitancyjnego. W środowisku MATLAB/Simulink przeprowadzono symulację komputerową, w wyniku której dobrano nastawy dla regulatora sterującego procesem. Symulacja sprzętowa prototypu układu automatycznego sterowania podciśnieniem chwytaka robota przemysłowego, w ogólnym ujęciu potwierdziła poprawność założeń projektowych.

Słowa kluczowe: automatyczne przezbrojenie, podciśnienie, chwytak, robot przemysłowy, pakowanie

1. Wprowadzenie

Zadaniem robota przemysłowego na stanowisku pakowania jest pobranie detalu, trzymanie go podczas transportowania i uwolnienie w miejscu docelowym. Elementem umożliwiającym realizację tych czynności transportowych jest chwytak, który umożliwia nałożenie na transportowany detal niezbędnej ilości ograniczeń swobody ruchu. W tym celu wykorzystuje się chwytanie siłowe bądź kształtowe. W pierwszym przypadku wytwarzane jest pole siłowe działające na obiekt. W drugim, wytwarza się połączenia między elementami chwytaka i detalem odbierając detale w ten sposób konieczną liczbę stopni swobody. Ograniczenie swobody ruchu podczas transportu ma na celu uniemożliwienie zmiany położenia detalu na skutek działania siły bezwładności i sił odśrodkowych [1].

Czynnikiem utrudniającym realizację procesu zrobotyzowanego pakowania jest, występująca głównie w przemyśle spożywczym, duża różnorodność cech surowców i ich zmienność, do których należy zaliczyć: masę, kształt i wymiary geometryczne, właściwości powierzchni miejsc uchwycenia, a także brak sztywności i odporności na naprężenia zewnętrzne, oraz dużą wrażliwość na uszkodzenia.

Zadawalającą efektywność procesu pakowania, w warunkach dużej zmienności parametrów utrudniających uchwycenie,

nie, pozwoli uzyskać zastosowanie chwytaka podciśnieniowego, którego podciśnienie będzie dostosowane do indywidualnych cech pakowanego materiału. Automatyczną zmianę wartości podciśnienia, w zależności od właściwości detalu poddawanego czynnościom manipulacyjnym, można potraktować jako formę szybkiego przezbrojenia. Z wniosków sformułowanych na podstawie doświadczeń związanych z implementacją metody szybkiego przezbrojenia SMED (ang. *Single Minute Exchange of Die*) wynika, iż czas przezbrojenia decyduje o elastyczności systemu produkcyjnego. Im czas jest krótszy, tym mniejsze są straty w oczekiwaniu na przystosowanie parametrów linii produkcyjnej do zmiennych cech przetwarzanego materiału. Szybkie przezbrojenie umożliwia obniżenie kosztów produkcji, liczby braków i błędów [2, 3].

W artykule omówiono wyniki prac badawczych nad formą szybkiego przezbrojenia przez automatyczną zmianę podciśnienia w przysawce chwytaka w zależności od cech pakowanego detalu, jakie zrealizowano w Laboratorium Robotyzacji Procesów Technologicznych na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Istota działania systemu polega na doborze wartości podciśnienia na podstawie sygnału z czujnika umożliwiającego detekcję cechy produktu, która jest czynnikiem wpływającym na uchwycenie.

2. Cel i zakres pracy badawczej

Celem pracy było przygotowanie projektu systemu automatycznego przezbrajania stanowiska pakowania robotem przemysłowym przez zmianę podciśnienia panującego w przysawce chwytaka w funkcji masy przenoszonego detalu. Zakres pracy obejmował:

- przedstawienie założeń projektowych dla układu sterowania podciśnieniem chwytaka robota przemysłowego;
- integrację stanowiska pomiarowego;

Autor korespondujący:

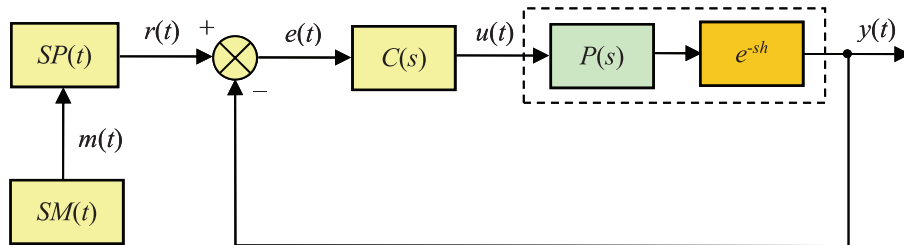
Marcin Tomasiak, marcin.tomasiak@uk.krakow.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 22.07.2016 r., przyjęty do druku 19.09.2016 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 1. Schemat blokowy modelu systemu sterowania podciśnieniem chwytaka
Fig. 1. A block diagram of the control system model vacuum gripper

- eksperymentalne wyznaczenie charakterystyki dynamicznej dla obiektu;
- opracowanie modeli symulacyjnych obiektu i układu regulacji;
- symulację komputerową w środowisku MATLAB/Simulink;
- symulację sprzętową na stanowisku badawczym.

3. Metodyka projektowania

Opracowano założenia projektowe dla systemu automatycznego przezbrojenia stanowiska pakowania robotem przez zmianę podciśnienia chwytaka. Głównym blokiem funkcjonalnym systemu jest próżniowy układ zasilania podciśnieniem. Dla weryfikacji założeń projektowych skonstruowano stanowisko badawcze, które stanowiło prototyp projektowanego systemu. Powstało ono przez włączenie do pętli sprzężenia zwrotnego wirtualnego układu sterowania, rzeczywistych elementów obiektu regulacji zainstalowanych w zbiorniku próżniowym – przetwornika ciśnienia i elektronicznego zaworu proporcjonalnego. Zbiornik próżniowy wraz z przetwornikiem ciśnienia i zaworem stanowiły w omawianym systemie sterowania obiekt regulacji. Na stanowisku zidentyfikowano właściwości dynamiczne obiektu regulacji rejestrując charakterystykę skokową. Projektowany system sterowania opisano symulacyjnym modelem transmitancyjnym. Model dostrojono i zweryfikowano na drodze symulacji komputerowej z wykorzystaniem środowiska programistycznego MATLAB/Simulink [4–6]. Na podstawie wyników symulacji dobrano nastawy dla układu sterowania, które następnie wykorzystano podczas symulacji sprzętowej przeprowadzonej na opisanym stanowisku badawczym. W trakcie symulacji komputerowej zweryfikowano także współpracę systemu sterowania z wybranymi przyssawkami chwytaka. Uzależniono wartość zadaną podciśnienia od parametrów przyssawek i od pozorowanej masy detalu poddawanego czynnościom manipulacyjnym. Na kolejnych etapach rozwoju projektu konieczne są badania, które pozwolą określić bezpieczną wartość podciśnienia (nieuszkodzającą transportowanych detali), dobraną do indywidualnych cech fizycznych przedmiotów. Ostatnią fazą rozwoju projektu opisaną w niniejszym opracowaniu była symulacja sprzętowa układu sterowania [7].

4. Założenia projektowe

Podciśnienie zasilające chwytak robota wytwarzane jest za pomocą strumienic (iniekatorów) gazowych oraz przy użyciu tłokowych lub wirnikowych pomp próżniowych. W popularnych rozwiązaniach technologicznych stosowanych w trakcie procesu produkcyjnego, wartość podciśnienia pozostaje stała. Czynności manipulacyjne wykonywane robotem wyposażonym w chwytak podciśnieniowy mogłyby jednak zostać usprawnione przez umożliwienie automatycznego przezbrojenia technologicznego, rozumianego jako kształtowanie wartości podciśnienia w zależności od zmieniających się parametrów detalu.

Rozwiązaniem problemu jest zaproponowany system umożliwiający automatyczny dobór wartości podciśnienia podawanego do przyssawki chwytaka w funkcji jednego z parametrów surowca. Analizowano uzależnienie wartości podciśnienia od sygnału zawierającego informację o masie produktu, która

należy do cech wpływających na uchwycenie obiektu. Założenia projektowe dla opracowanego systemu zilustrowano modelem (schemat blokowy na rys. 1).

Znaczenie przedstawionych na schemacie bloków funkcjonalnych jest następujące: $SM(t)$ – blok czujnika masy, $m(t)$ – sygnał czujnika masy, $SP(t)$ – blok zadajnika, $C(s)$ – transmitancja regulatora, $P(s)$ – transmitancja obiektu, h – opóźnienie transportowe, $r(t)$ – sygnał wartości zadanej, $e(t)$ – błąd regulacji, $u(t)$ – sygnał sterujący, $y(t)$ – sygnał wyjściowy modelu obiektu.

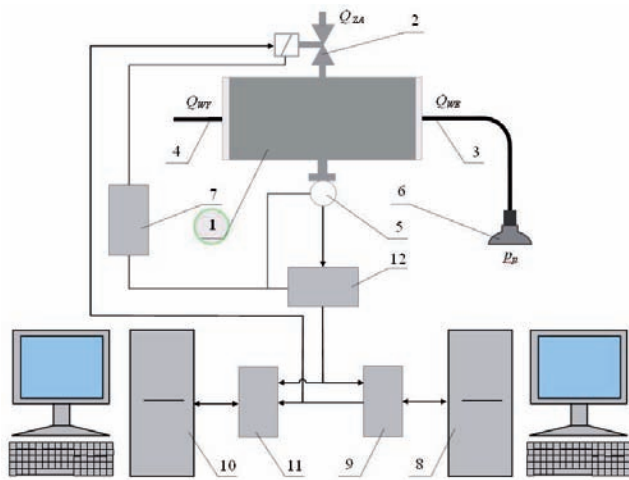
Zasada działania przedstawionego układu jest następująca. Sygnał z procesu $m(t)$ wypracowany przez czujnik $SM(t)$, wprowadzony na wejście zadajnika $SP(t)$, dostarcza informacji na temat cechy surowca, która determinuje jego uchwycenie – w tym wypadku jest to masa detalu poddawanego czynnościom manipulacyjnym. Zadajnik reprezentuje zależność określającą relację między masą a dopuszczalną wartością podciśnienia. Na podstawie tej informacji obliczana jest wartość zadana podciśnienia $r(t)$, która następnie jest porównywana z sygnałem ciśnienia $y(t)$. Otrzymana różnica stanowi błąd regulacji $e(t)$, na podstawie którego regulator $C(s)$ oblicza oddziaływanie zwrotne na obiekt $P(s)$ oraz h .

5. Stanowisko badawcze

W celu weryfikacji założeń projektowych konieczna była konstrukcja stanowiska badawczego. Na podstawie wykonanych na nim doświadczeń określono właściwości dynamiczne systemu sterowania podciśnieniem oraz przeprowadzono symulację sprzętową prototypu urządzenia. Widok ogólny stanowiska i schemat zilustrowano na rys. 2 i 3. Znaczenie przedstawionych na rysunkach symboli i bloków funkcjonalnych jest następujące: 1 – zbiornik kontrolowanego podciśnienia, 2 – elektroniczny zawór proporcjonalny Burkert 6024 z kontrolerem eCONTROL 8611, 3 – przewód podciśnienia, 4 – podciśnieniowy przewód instalacyjny (do pompy próżniowej), 5 – przetwornik podciśnienia WIKA A-10, 6 – chwytak podciśnieniowy, 7 – zasilacz (24 V), 8 – komputer sterujący, 9 – terminal zaciskowy PLCD-8710 karty I/O Advantech PCI-1711 komputera sterującego,



Rys. 2. Stanowisko badawcze z robotem przemysłowym FANUC S420i F
Fig. 2. The test stand with industrial robot FANUC S420i F



Rys. 3. Schemat ideowy stanowiska badawczego systemu sterowania podciśnieniem chwytaka

Fig. 3. Schematic diagram of the test system control vacuum gripper

10 – komputer rejestrujący, 11 – terminal zaciskowy PLCD-8710 karty I/O Advantech PCI-1711 komputera rejestrującego, 12 – przetwornik sygnałowy Phoenix Contact MCR-C-UI/UI-DCI-NC (4-20mA/0-10V), Q_{ZA} – strumień masowy powietrza przepływającego przez zawór, Q_{WE} – strumień masowy powietrza na wejściu do zbiornika, Q_{WY} – strumień masowy powietrza na wyjściu ze zbiornika, p_p – podciśnienie robocze chwytaka.

Podstawowym elementem stanowiska jest zbiornik podciśnienia roboczego (1) (rys. 2 i 3). Przewodem (4) dostarczane jest powietrze o stałej wartości podciśnienia z pompy próżniowej do zbiornika podciśnienia roboczego. Wartość zadaną podciśnienia roboczego p_p uzyskuje się przez otwarcie zaworu (2) i wprowadzenie do w/w zbiornika filtrowanego powietrza atmosferycznego Q_{ZA} . Następnie podciśnienie robocze p_p kierowane jest przewodem (3) do przyssawki chwytaka (6). Na stanowisku badawczym widoczne są dwa komputery PC, wyposażone w karty pomiarowe (8-11). Jeden z komputerów pełni rolę sterownika procesu (8), drugi stosowany jest do rejestracji parametrów procesu (10). Podczas eksperymentu korzystano ze środowiska do obliczeń naukowo-technicznych MATLAB/Simulink. Tutaj zaprogramowano w formie schematu blokowego układ sterowania, który został zaimplementowany w komputerze sterującym. Do pętli sprzężenia zwrotnego układu włączono rzeczywiste elementy zainstalowane w zbiorniku podciśnienia roboczego (1) – przetwornik ciśnienia (5) i elektroniczny zawór proporcjonalny (2). Badania związane z przenoszeniem elementów prowadzono za pomocą robota przemysłowego FANUC S420 iF wyposażonego w chwytak z zestawem ssawk podciśnieniowych [8].

6. Model obiektu regulacji

Aby sformułować model transmitancyjny obiektu sterowania niezbędna jest wiedza na temat jego właściwości dynamicznych. Można ją uzyskać przez zarejestrowanie i analizę charakterystyki skokowej. W przypadku opisywanego projektu wyznaczono ją eksperymentalnie na stanowisku badawczym przez nagły wzrost ciśnienia w zbiorniku – zadanie skokowego sygnału wymuszającego. Efekt ten uzyskano przez całkowite otwarcie zaworu (2). W ten sposób do zbiornika (1) wprowadzone zostało powietrze z otoczenia Q_{ZA} . Przed wprowadzeniem wymuszenia obiekt znajdował się w stanie ustalonym – wartość ciśnienia bezwzględne wynosiła 47 kPa (równoznaczne z podciśnieniem 53 kPa – dalsze prowadzenie obliczeń wymagało przejścia na jednostki ciśnienia bezwzględne) i nie zmieniła się. Po uzyskaniu skokowej zmiany sygnału wejściowego, sygnał wyjściowy (ciśnienie w zbiorniku) przyjął nową wartość.

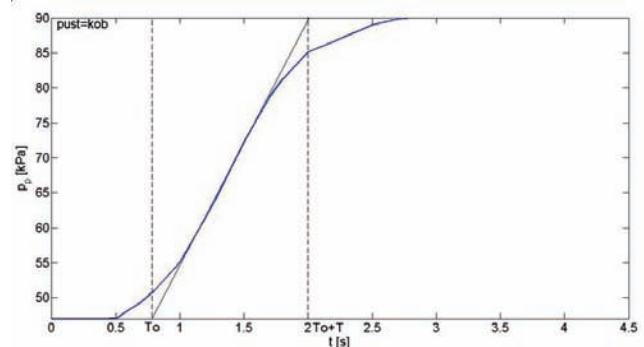
Jego przebieg, stanowiący charakterystykę skokową obiektu, zilustrowano na rys. 4.

Na podstawie zarejestrowanej charakterystyki (rys. 4) wyznaczono transmitancję operatorową $G(s)$ obiektu [9-11] (1):

$$G(s) = \frac{\Delta y m(s)}{\Delta x(s)} = k_{ob} \frac{1}{Ts + 1} e^{-T_0 s} \quad (1)$$

gdzie: Δx – zmiana sygnału wejściowego, $\Delta y m$ – zmiana sygnału wyjściowego, k_{ob} – współczynnik wzmocnienia statycznego obiektu, T – stała czasowa, T_0 – opóźnienie transportowe. Zależność ta dla badanego obiektu przyjęła postać (2):

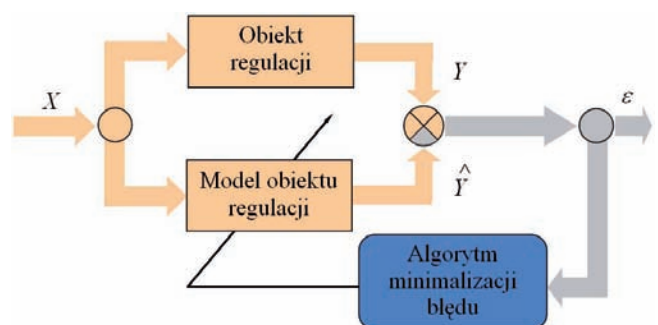
$$G(s) = 2,65 \frac{1}{0,7s + 1} e^{-0,29s} \quad (2)$$



Rys. 4. Charakterystyka skokowa obiektu regulacji (ciśnienie bezwzględne)

Fig. 4. Step response of the control object (absolute pressure)

Otrzymany model transmitancyjny $G(s)$ poddano identyfikacji, tj. dobrano wartości jego parametrów w taki sposób, aby zapewnić zgodność modelu z właściwościami dynamicznymi analizowanego obiektu [12]. Identyfikację przeprowadzono na drodze symulacji komputerowej w środowisku obliczeniowym MATLAB/Simulink według schematu z rys. 5.



Rys. 5. Schemat procesu identyfikacji modelu

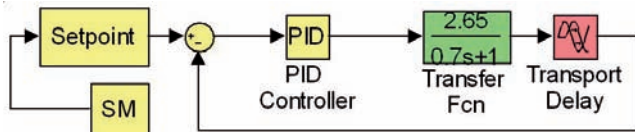
Fig. 5. Diagram of the process model identification

Przedstawione na schemacie symbole oznaczają: X – sygnał sterujący (wymuszenie), Y – sygnał wyjściowy obiektu regulacji, \hat{Y} – sygnał wyjściowy modelu, ϵ – stopień niedoskonałości modelu.

W trakcie symulacji na wejście modelu wprowadzono wymuszenie skokowe X . Następnie stan wyjścia modelu \hat{Y} zestawiono z wczytanym do przestrzeni roboczej środowiska MATLAB przebiegiem charakterystyki dynamicznej rzeczywistego obiektu Y . Oceniono stopień niedoskonałości i na tej podstawie przeprowadzono korektę.

7. Model układu regulacji w symulacji komputerowej

Opierając się na transmitancyjnym modelu obiektu (2), opracowano symulacyjny model układu regulacji z zastosowaniem oprogramowania MATLAB/Simulink. Ilustruje go schemat blokowy przedstawiony na rys. 6.



Rys. 6. Schemat blokowy modelu symulacyjnego układu regulacji – symulacja komputerowa

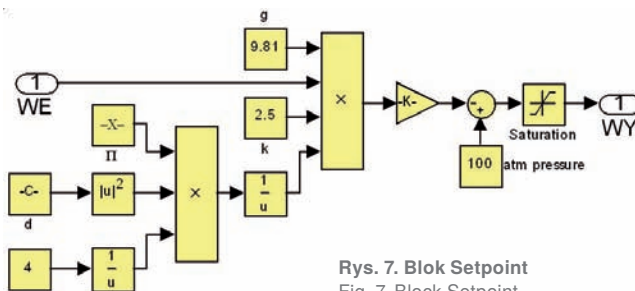
Fig. 6. Block diagram of a simulation model of the control system – computer simulation

Znaczenie przedstawionych na schemacie bloków funkcjonalnych jest następujące: blok *SM* reprezentuje sygnał z procesu zawierający informację o masie detalu, podsystem *Setpoint* oznacza wartość zadaną podciśnienia, blok *PID Controller* przedstawia transmitancję regulatora, bloki *Transfer Fcn* i *Transport Delay* reprezentują czynnik transmitancji obiektu i opóźnienie transportowe. Odrębny problem stanowiło powiązanie parametrów przyssawki i masy detalu poddawanego czynnościom manipulacyjnym z wartością zadaną podciśnienia. Wykorzystano do tego celu zależność (3) [1]:

$$p_p \geq \frac{gkm}{A} \quad (3)$$

gdzie: p_p – podciśnienie w czaszy przyssawki [Pa]; g – przyspieszenie ziemskie [$m \cdot s^{-2}$]; k – współczynnik uchwycenia, $1,2 \leq k \leq 5$; ($k = 2,5$); A – powierzchnia czaszy przyssawki [m^2]; m – masa obiektu [kg].

Zależność, po zapisaniu zgodnie z regułami Simulink w bloku *Setpoint* (rys. 6), przyjęła postać schematu blokowego zilustrowanego na rys. 7.



Rys. 7. Blok Setpoint
Fig. 7. Block Setpoint

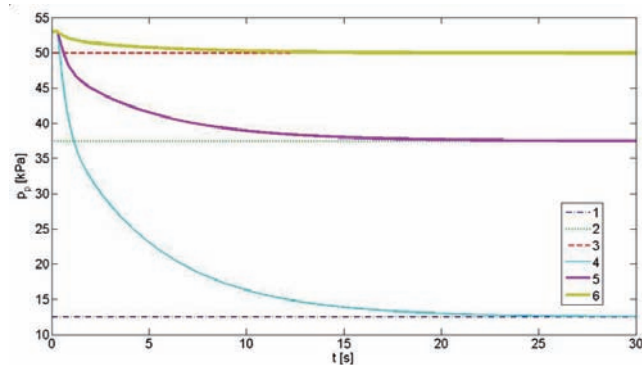
Podczas symulacji komputerowej skalibrowano model układu regulacji, między innymi dobrano nastawy dla regulatora PID. Czynności związane z doborem nastaw prowadzono aż do uzyskania oczekiwanego rezultatu, zgodnego z założeniami projektowymi. Następnie zweryfikowano współpracę systemu sterowania z wybranymi przyssawkami chwytaka. Uzależniono wartość zadaną podciśnienia od parametrów przyssawek i masy detalu poddawanego czynnościom manipulacyjnym. Ten etap symulacji miał następujący przebieg: na wejście bloku *Setpoint* wprowadzano zakładaną wartość masy detalu poddawanego czynnościom manipulacyjnym (rys. 6). Na tej podstawie w bloku został obliczony sygnał wartości zadanej podciśnienia, który trafił na wejście węzła sumującego, wyliczającego błąd regulacji. Na podstawie tej wartości, w bloku

PID Controller obliczany jest sygnał sterujący. Sygnał ten jest podawany na wejście modelu transmitancyjnego obiektu *Transfer Fcn* i *Transport Delay*. Sygnał wyjściowy modelu obiektu w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego jest podawany na wejście węzła sumującego. Założono, że podciśnienie dostarczane z instalacji próżniowej do układu sterowania wynosi 53 kPa. Obliczono i zarejestrowano odpowiedzi modelu układu sterowania dla trzech rodzajów przyssawek o średnicach czasz: 22 mm, 42 mm, 50 mm. Podczas symulacji, dla poszczególnych przyssawek, zadawano trzy dobrane arbitralnie wartości masy detalu poddawanego czynnościom manipulacyjnym. W przypadku przykładowej przyssawki Piab F50-2 o średnicy czaszy 50 mm, były to następujące wartości masy: 1 kg, 3 kg, 4 kg. Widok przyssawki oraz wyniki symulacji zilustrowano na rys. 8 i 9.



Rys. 8. Przyssawka o średnicy czaszy 50 mm

Fig. 8. The suction cup having a diameter of 50 mm



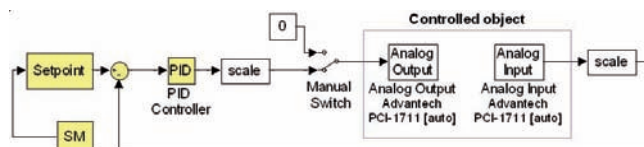
Rys. 9. Przebiegi sygnałów zadanych i odpowiedzi modelu dla przyssawki o średnicy czaszy 50 mm

Fig. 9. Signal waveforms set and model answers for the suction cup with a diameter of 50 mm

Znaczenie przebiegów przedstawionych na rys. 9 jest następujące: 1 – sygnał zadany dla masy detalu równej 1 kg, 2 – sygnał zadany dla masy detalu 3 kg, 3 – sygnał zadany dla masy detalu równej 4 kg, 4 – odpowiedź modelu na sygnał zadany 1, 5 – odpowiedź modelu na sygnał zadany 2, 6 – odpowiedź modelu na sygnał zadany 3. Analizując przebiegi można zaobserwować, że wartości zadane podciśnienia (linie 1, 2, 3) odpowiednio wynosiły 12,5 kPa dla 1 kg, 37,5 kPa dla 3 kg i 50 kPa dla 4 kg. W przypadku sygnału zadanego reprezentowanego przez linię nr 1, model układu sterowania osiągnął właściwą wartość podciśnienia po około 25 s. Dla następnej wartości sygnału zadanego (linia 2), wartość zadaną podciśnienia osiągnięto po około 20 s. Dla sygnału zadanego oznaczonego linią nr 3 wartość zadaną osiągnięto po około 15 s. Kolejnym etapem realizacji projektu była symulacja sprzętowa.

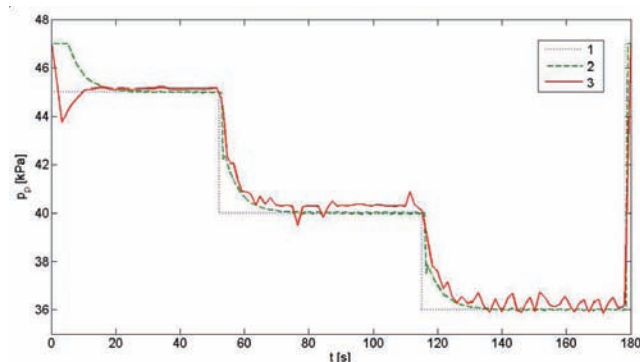
8. Model układu regulacji w symulacji sprzętowej

Specyfika symulacji sprzętowej wymagała takiego przekształcenia modelu układu regulacji, zilustrowanego schematem na rys. 6, które umożliwi komunikację z otoczeniem systemu. W tym celu bloki reprezentujące model obiektu zastąpiono blokami wejścia analogowego (Analog Input) i wyjścia analogowego (Analog Output) oraz blokami skalowania (scale) sygnałów wejściowego i wyjściowego (rys. 10).



Rys. 10. Schemat blokowy modelu symulacyjnego układu regulacji – symulacja sprzętowa

Fig. 10. Block diagram of a simulation model of the control system – hardware simulation



Rys. 11. Zarejestrowane podczas badań sygnały podciśnienia

Fig. 11. Recorded during the test signals vacuum

W ten sposób powstał sterownik komunikujący się za pośrednictwem karty I/O z elementami rzeczywistymi obiektu regulacji, tj. przetwornikiem ciśnienia i zaworem proporcjonalnym. Symulacja sprzętowa miała na celu ostatecznie potwierdzić poprawność założeń projektowych i właściwe działanie sterownika. Przebiegi sygnałów dla analizowanego systemu, uzyskane w wyniku symulacji komputerowej i sprzętowej zilustrowano na rys. 11.

Na wykresie (rys. 11) widoczne są przebiegi: 1 – sygnał wejściowy (zadany) modelu symulacyjnego i obiektu rzeczywistego, 2 – sygnał wyjściowy modelu symulacyjnego, 3 – sygnał wyjściowy obiektu rzeczywistego. Przebieg wartości zadanej podciśnienia (linia 1) ustalono dla przykładowej przysawki tak, aby podciśnienie odpowiadało różnym wartościom masy detalu. Wartości masy generowano, a docelowo niezbędnych informacji dostarczy odpowiedni układ pomiarowy. Zagadnienie to będzie przedmiotem dalszych badań. Na podstawie analizy sygnałów wyjściowych (linie 2 i 3) należy stwierdzić, iż nastawy regulatora dobrano poprawnie – rozpatrywane sygnały pokrywają się z wartością zadaną ciśnienia. Porównując przebiegi 2 i 3 można stwierdzić, iż model transmitancyjny opisuje właściwości dynamiczne obiektu z wystarczającą dokładnością – sygnał rzeczywisty (linia 3) nie odbiega znacząco od sygnału wytworzonego przez sformułowany model (linia 2). Szczegółowej analizy wymaga sygnał rzeczywisty (linia 3). W jego przypadku pojawiają się nieprzewidziane przez model symulacyjny periodyczne zakłócenia z amplitudą nieprzekraczającą 1 kPa. Aby wyjaśnić ich przyczynę konieczne są dalsze badania.

9. Wnioski

- Charakterystyka dynamiczna, zarejestrowana dla próżniowego układu zasilania podciśnieniem systemu automatycznego przebrojenia stanowiska pakowania robotem, odzwierciedla obiekt inercyjny pierwszego rzędu.
- Symulacyjny model transmitancyjny odwzorował właściwości dynamiczne obiektu z dokładnością umożliwiającą poprawny dobór parametrów dla układu sterowania.
- Symulacja komputerowa umożliwiła kalibrację modelu układu regulacji i poprawny dobór nastaw regulatora PID.
- Symulacja komputerowa z wykorzystaniem modelu systemu sterowania dostarczyła istotnych informacji na temat jego działania, w konfiguracji z wybranymi przysawkami chwytaka podciśnieniowego.
- Wyjaśnienia wymaga przyczyna pojawienia się periodycznych zakłóceń sygnału rzeczywistego.
- Symulacja sprzętowa prototypu układu automatycznego sterowania podciśnieniem chwytaka robota przemysłowego, w ogólnym ujęciu potwierdziła poprawność założeń projektowych.
- Przeprowadzone badania stanowią etap w realizacji projektu układu automatycznego przebrojenia stanowiska pakowania robotem poprzez zmianę podciśnienia chwytaka w funkcji masy przenoszonego detalu.

Bibliografia

1. Olszewski M., Barczyk J., Falkowski J.L., Kościelny W.J., *Manipulatory i roboty przemysłowe. Automatyczne maszyny manipulacyjne*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1994, ISBN 83-204-1240-4.
2. Shingo S., *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*, Productivity Press, Inc., Portland, Oregon, 1985.
3. Shingo S., *Quick Changeover for Operators: The SMED System*, Productivity Press, Inc., Portland, Oregon 1996.
4. Mrozek B., Mrozek Z., *MATLAB i Simulink*. Wyd. HELION, Gliwice 2004. ISBN 83-7361-486-9.
5. Klempka R., Stankiewicz A., *Modelowanie i symulacja układów dynamicznych*. Wyd. AGH, Kraków 2006, ISBN 83-7464-060-X.
6. Osowski S., Stankiewicz A., *Modelowanie i symulacja układów i procesów dynamicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006, ISBN 83-7464-060-X.
7. Kurytnik I.P., Lis S., Dróżdź T., Telega A., *Metoda szybkiego prototypowania w opracowaniu algorytmu sterowania instalacją solarną*. „Pomiary Automatyka Kontrola”, R. 60, Nr 5, 2014, 325–328.
8. Juszka H., Lis S., Tomasiak M., Janosz R., *Robotyzacja rolno-spożywczych procesów technologicznych – materiały naukowo-dydaktyczne*. Wyd. PTIR, Kraków 2013, ISBN 978-83-935020-7-3.
9. Tarnowski W., Ociepa Z., *Projektowanie układów regulacji automatycznej ciągłych z liniowymi korektorami ze wspomaganiami za pomocą MATLAB'a*. Wyd. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2008, ISSN 0239-7129.
10. Lis S., Tomasiak M., Nęcka K., Dróżdź T., Nawara P., Wrona P., Oziembłowski M., *Konstrukcja i analiza modelu symulacyjnego układu sterowania piecem indukcyjnym*. „Przegląd Elektrotechniczny”, R. 91, 12, 2015, 147–150.
11. Ludwicki M., Ludwicki M., *Sterowanie procesami technologicznymi w produkcji żywności*. Warszawa 2015, ISBN 978-83-01-18209-0.
12. Tadeusiewicz R., *Biocybernetyka*. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2014, ISBN 978-83-01-17376-0.

The System of Automatic Changeover Position Packing Industrial Robot

Abstract: The design intent for the system of automatic changeover position packing industrial robot. By retrofitting is understood here automatic change vacuum gripper as a function of the weight of the workpieces. Constructed test stand of the measuring system. For the determination of dynamic properties of the object removed step response. The designed system are described simulation transmittance model. The program MATLAB/Simulink was carried out computer simulation, a result of which the setting were selected for the control of the control process. Simulation of a hardware prototype of the automatic control of the vacuum gripper of an industrial robot, in broad terms reaffirmed the correctness of project assumptionsn.

Keywords: automatic changeover, vacuum gripper, industrial robot, packaging

dr inż. Stanisław Lis

stanislaw.lis@ur.krakow.pl

Absolwent Wydziału Techniki i Energetyki Rolnictwa Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie. W teŹże uczelni w 2009 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych w zakresie inŹynierii rolniczej. Od 2011 r. pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych na Wydziale InŹynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie. Jego zainteresowania badawcze obejmujĄ automatyzację i robotyzację procesów rolno-spoŹywczych.



dr inż. Marcin Tomasik

marcin.tomasik@ur.krakow.pl

Absolwent Wydziału Techniki i Energetyki Rolnictwa Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie. W teŹże uczelni w 2005 r. uzyskał stopień doktora nauk rolniczych w zakresie inŹynierii rolniczej. Od 2005 r. pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych na Wydziale InŹynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. H. Kołłątaja w Krakowie. Jest autorem i współautorem: 2 monografii, 90 publikacji w krajowych czasopismach naukowych, 6 publikacji w zagranicznych czasopismach naukowych, w tematyce modelowania, automatyzacji (z zastosowaniem PLC oraz systemów informatycznych SCADA) procesów produkcyjnych.



mgr Magdalena DróŹdŹ

magdalena.j.drozd@gmail.com

Uzyskała tytuł licencjata kierunku dietetyka na Wydziale Lekarskim Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego w 2014 roku. Edukację kontynuowała na Wydziale Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu na kierunku dietetyka, uzyskując tytuł magistra w 2016 roku. Od 2016 roku jest doktorantką Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu na Wydziale Nauk o Źywności. Jej zainteresowania badawcze obejmujĄ inŹynierię produkcji w technologii Źywności i dietetykę.

