

Prototypowy system testujący do badania układu regulacji położenia przepustnicy

Rafał Czok, Sebastian Brol

Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, ul. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole

Streszczenie: W artykule przedstawiono nowy, prototypowy mikrokontrolerowy system testowy do badania i testowania układów regulacji położenia przepustnicy stosowanych w robotach i pojazdach. System zaprojektowano tak, aby umożliwił wyznaczanie wybranych (statycznych i dynamicznych) charakterystyk badanego/testowanego układu regulacji. Przedstawiono założenia budowy i działania systemu testującego oraz omówiono realizowane przez system funkcje, a także możliwości rozbudowy. Zaprezentowano niektóre rozwiązania dostosowujące system do potrzeb badania układów regulacji położenia przepustnicy, które pozwalają na badanie specyficznych właściwości układów regulacji. Przedstawiono wyniki testów układu regulacji położenia przepustnicy z prototypowym sterownikiem oraz przedstawiono uzyskiwane, za pomocą systemu, charakterystyki całego układu regulacji.

Słowa kluczowe: system testowy, regulator położenia, układ napędowy hybrydowy, robot, pojazd

1. Wstęp

W artykule przedstawiono prototypowy system testujący przeznaczony do badania układów regulacji położenia. Może on służyć do testowania układów regulacji położenia stosowanych w robotach, w pojazdach oraz w przemyśle. System testujący przeznaczony jest do układów wykorzystujących do napędu szczotkowy silnik prądu stałego z magnesami trwałymi oraz Rezystancyjny Czujnik Położenia (RCP) Organu Roboczego (OR). Może być stosowany do wyznaczania charakterystyk i parametrów układów regulacji mających zastosowanie między innymi w mechanizmach chwytaków, w automatycznie sterowanych sprzęgłach ciernych oraz zautomatyzowanych skrzynkach biegów i układów ETC (układów elektronicznej kontroli stopnia otwarcia przepustnicy silnika; ang. *Electronic Throttle Control*).

W konstrukcji robotów kołowych coraz częściej stosuje się hybrydowe układy napędowe, najczęściej szeregowo. Są one korzystne tam, gdzie robot oprócz przemieszczania się ma za zadanie manipulować przedmiotami. Wówczas do napędu ramion lub wysięgników korzystne jest zastosowanie energii dodatkowej [1] pneumatycznej lub hydraulicznej zapewnianej przez układ napędowy hybrydowy. Jeśli oprócz tego wymagany jest duży zasięg albo długotrwały czas pracy, to może

okazać się, że zasadnym jest wykorzystanie silnika spalinowego o zapłonie iskrowym (ZI) lub o zapłonie samoczynnym (ZS) jako głównego komponentu hybrydy. Wówczas konieczne jest sterowanie sprzęgłem łączącym silnik spalinowy z wałem, a także sterowanie jego momentem napędowym. W przypadku silnika ZI sterowanie momentem realizowane jest przez dławienie przepływu powietrza realizowanego za pomocą układu sterowania położeniem kątowym przepustnicy [8].

Wykorzystanie skomputeryzowanego układu sterowania dławieniem przepływu powietrza do silnika ZI umożliwia synchronizację i współpracę dwóch jednostek napędowych w ramach układu hybrydowego realizującego podaż momentu napędowego zgodnie z trybem pracy i zapotrzebowaniem na moment napędowy, ustalany przez nadrzędny system sterowania [7, 8, 12].

Badanie układów regulacji położenia przepustnicy jest ważne ze względu na to, że układ ten powinien zapewnić podaż momentu silnika ZI w warunkach ustalonych i nieustalonych, zgodnie z realizowanym algorytmem sterowania [3, 5, 10, 16, 17] oraz zmiennym obciążeniem wynikającym z charakterystyki terenu lub nawierzchni, po której porusza się robot/pojazd. Problematykę sterowania położeniem przepustnicy można podzielić na dwa obszary. Pierwszy dotyczy dynamiki otwierania i zamykania (zmiany dławienia przepływu powietrza), a drugi precyzji sterowania (uchybu w stanie ustalonym). Zbyt wolne otwieranie przepustnicy w stosunku do dynamiki silnika skutkuje pogorszeniem wskaźników pracy i charakterystyki trakcyjnej pojazdu [11, 13].

Stosowanie elektrycznie sterowanego układu regulacji położenia przepustnicy daje szereg korzyści, m.in.: polepszenie właściwości dynamicznych silnika, ograniczenie zużycia paliwa, zmniejszenie emisji substancji szkodliwych, a także wykorzystanie pełnego momentu obrotowego przy niższych obrotach [2, 4].

Autor korespondujący:

Rafał Czok, rafalczok@gmail.com

Artykuł recenzowany

nadesłany 23.01.2015 r., przyjęty do druku 22.03.2015 r.



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

W układach regulacji wymagane jest sprzężenie zwrotne co najmniej o położeniu przepustnicy zapewniane w układach ETC zazwyczaj przez wykorzystanie rezystancyjnego czujnika położenia przepustnicy (choć spotyka się także magnetyczne, wykorzystujące czujnik Halla [3, 14]). Uszkodzenia czujnika kąta otwarcia skutkują błędnymi wskazaniami uchylenia kąta otwarcia przepustnicy i mogą doprowadzić do znacznego pogorszenia pracy silnika oraz wzrostu emisji CO (wielokrotne), a niekiedy także zwiększenia obrotów biegu jałowego [3, 9, 15].

Przytoczone fakty wskazują, że zastosowanie układu regulacji położenia przepustnicy wymaga przeanalizowania wielu składników jego pracy oraz urządzeń z nim współpracujących. Co więcej potrzebne jest skrupulatne przetestowanie układu regulacji położenia ze szczególnym uwzględnieniem statycznych i dynamicznych wskaźników jakości regulacji. W rezultacie prowadzi to do uzasadnionej potrzeby stosowania systemów do testowania, które opisano w artykule.

2. Kryteria działania i budowy mikrokontrolowego systemu testującego

Z informacji podanych we wstępie wynika, że system do testów układów regulacji położenia przepustnicy powinien stwarzać możliwość przeprowadzenia badań, w wyniku których zostaną wyznaczone charakterystyki statyczne i dynamiczne układu regulacji (z uwzględnieniem elementów pośredniczących jak np. linki, mechanizmy czy przekładnie) oraz wybrane charakterystyki metrologiczne czujnika położenia przepustnicy wpływające na wskaźniki regulacji.

Te założenia pozwalają na ustalenie wymagań stawianych przebiegom sygnałów wymuszających. W tym konkretnym przypadku wykorzystane zostaną sygnały statyczne, wymuszenie skokowe o zmiennej wartości skoku oraz sygnał linowo narastający.

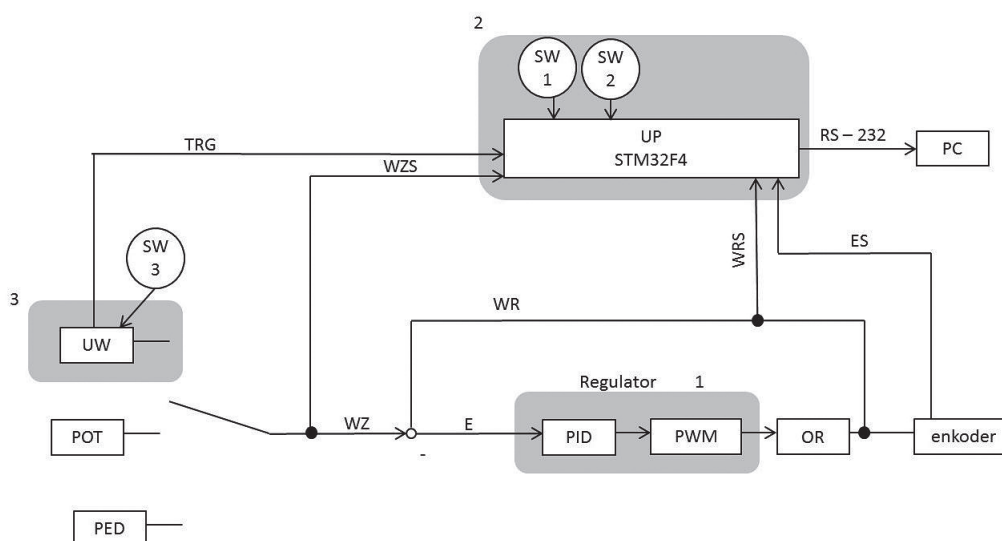
Wyznaczanie charakterystyk metrologicznych czujnika położenia przepustnicy determinuje wykorzystanie dodatkowego sensora o znacznie mniejszej niepewności pomiarowej niż element

badany. Do tego celu wykorzystano enkoder inkrementalny, ze względu na prostotę montażu, łatwość sprzęgnięcia z wałem przepustnicy oraz prostotę podłączenia od systemu testowego.

Ze względu na zamiar szerokiego wykorzystania systemu testującego do realizacji zadań pomiarowych zdecydowano się wykorzystać mikrokontroler jednokładowy z rodziny STM32. Wybrano go ze względu na to, że wyposażony jest w osiem kanałów „analogowych” połączonych z dwoma 12-bitowymi przetwornikami analogowo-cyfrowymi (A/C), z których każdy przetwarza sygnały z 4 kanałów za pośrednictwem multiplexera. Zaletą tego mikrokontrolera jest możliwość jednoczesnego przetwarzania próbek z 2 sygnałów. STM32 wyposażony jest również w specjalne układy do obsługi tzw. sygnałów kwadraturowych z enkodera inkrementalnego pozwalające uzyskać nawet czterokrotnie wyższą rozdzielczość niż wynika to z podziału tarczy i to przy częstotliwościach sygnałów dochodzących do 100 kHz. Niepewność pomiarowa przetworników A/C wg producenta STM32F1 wynosi $\pm 0,003$ V, a zastosowanego enkodera z układem licznikowym $\Delta_\alpha = 0,09^\circ$. Połączenie enkodera bezpośrednio z wałem przepustnicy, pozwala na zarejestrowanie ewentualnych drgań w momencie częściowego/pełnego otwarcia lub zamknięcia przepustnicy oraz obliczenie parametrów statycznych dla pomiarów realizowanych w stanie ustalonym (dla RCP i enkodera).

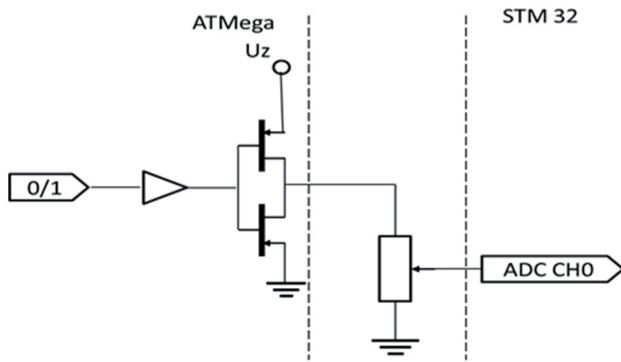
Układ Pomiarowy (UP) zaprogramowano tak, by wysyłał dane pomiarowe (paczki opatrzone 16-bitową sumą kontrolną) za pomocą układu scalonego (UART – *Universal Receiver and Transmitter*) używanego do asynchronicznego przekazywania i odbierania informacji przez złącze w standardzie RS-232 (tutaj konwerter USB/RS-232 bazujący na układzie scalonym firmy FTDI FDTI232). Dane wysyłano z odstępami czasu, które można ustalić w zakresie od 0,05 s do 0,1 s.

Dane pomiarowe pobierano czterokrotnie, z dwóch kanałów jednocześnie, i zapamiętywano. Wyjątek stanowi pierwszy pomiar, gdzie zapamiętywano jednocześnie próbki z wartości zadanej sygnałów (WZS) i wielkości regulowanej sygnału (WRS) oraz z licznika układu enkodera (ES). Ten wyjątek służy do gromadzenia danych z jak najmniejszym opóźnieniem czasowym pomiędzy nimi, i przydatny jest do analizy przebiegów sygnałów w układzie regulacji.



Rys. 1. Schemat układu testowego. PED – pedał przyspieszenia, POT – potencjometr, UW – układ wyzwalający, WZ/WR – wartość zadana/regulowana, WZS/WRS – wartość zadana/regulowana sygnał, E – uchyb, ES – sygnał enkodera, SW1/3 – przycisk rozpoczęcia pomiaru, SW2 – przycisk zakończenie pomiaru 1, 3 – układy z wykorzystaniem mikrokontrolera ARDUINO NANO, 2 – układ pomiarowy (UP) na bazie mikrokontrolera STM32F1, OR – organ roboczy (przepustnica)

Fig. 1. Schematics of testing system: PED – accelerator pedal, POT – variable resistor, UW – trigger system, WZ/WR – setpoint/process variable, WZS/WRS – signal of set point and process variable, E – error, ES – encoder signal, SW1/3 – start of measurement button, SW2 – stop of measurement 1, 3 – system using ATmega microcontroller, 2 – measurement system based on STM32F1 OR – actuator (Throttle)



Rys. 2. Schemat układu wymuszenia skokowego z różną wartością skoku
Fig. 2. Schematics of step response circuit with selectable step amplitude

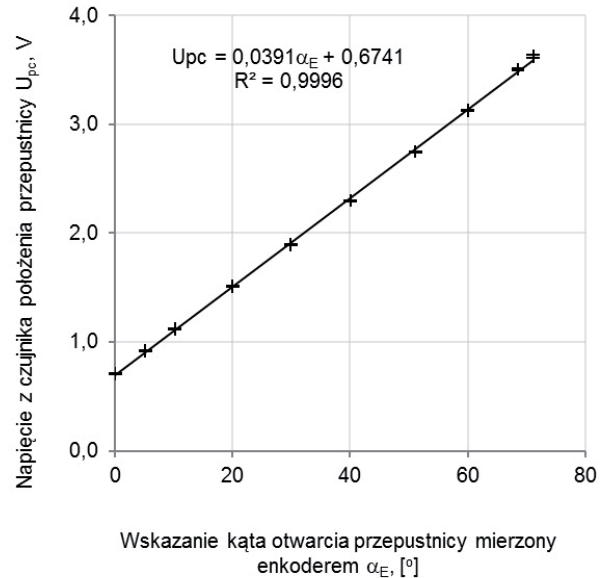
Przewidziano dwa tryby wyzwalania początku pomiaru: przez naciśnięcie przycisku SW1 lub w wyniku wystąpienia zbocza narastającego sygnału TRG sterowanego przez układ wyzwalający. W obu przypadkach zakończenie pomiaru następuje w wyniku przyciśnięcia przycisku SW2. Pierwszy tryb służy do prowadzenia badań układu regulacji położenia przepustnicy w stanie ustalonym i do wyznaczania charakterystyk metrologicznych rezystancyjnego czujnika położenia przepustnicy. Drugi tryb wykorzystuje się do wyznaczania charakterystyk dynamicznych układu regulacji.

System testowy (rys. 1) umożliwia podłączenie trzech źródeł sygnału wartości zadanej. Standardowo wykorzystuje się pedał przyspieszenia do sprawdzenia zakresu ruchu przepustnicy oraz rezystora nastawnego. Rezystor nastawny służy do ustalania położenia przepustnicy podczas badań w stanie ustalonym oraz do realizowania wymuszenia skokowego o różnej wartości skoku podczas testów dynamicznych. Dodatkowo rezystor ten może być jednym z elementów układu wyzwalającego (UW). Układ wyzwalający zbudowano w oparciu o mikrokontroler ATmega328. Przez wciśnięcie przycisku (SW3) układ ma zadawać sygnał skokowy o powtarzalnym przebiegu, naśladujący szybkie ruchy pedału przyspieszenia. Jego działanie polega na tym, że po przyciśnięciu przycisku SW3 oczekiwany jest określony czas (zwykle 1 s) a następnie zmieniany jest z niskiego na wysoki stan sygnału wyjściowego TRG.

Sygnal ten, przekazywany do układu pomiarowego, jest alternatywnym sygnałem wyzwalającym pomiar. Dodatkowo przez rezystor nastawny (rys. 3), służący do ustalania napięcia maksymalnego, podawany jest jako sygnał WZS (rys. 2) do układu regulacji, o ile podłączono go w ten sposób za pomocą selektora. Po upływie zadanego czasu, stan sygnału zmienia się na niski.

Taki sposób działania UW pozwala na uzyskanie powtarzalnych wymuszeń służących do wyznaczenia stałych czasowych i czasu martwego. Wartości tych parametrów mogą być różne podczas otwierania i zamykania przepustnicy. Przebieg testów dla wybranych, z trybów pracy systemu, przedstawiono w trzech krokach.

1. Tryb wyznaczania zakresu ruchu przepustnicy Układu Regulacji Położenia Przepustnicy (URPP). Podłączenie Pedala Przyspieszenia (PP). Ustalenie PP w dolnym położeniu. Pomiar manualny z użyciem przycisków SW1 i SW2. Ustalenie PP w górnym położeniu. Pomiar manualny.
2. Tryb wyznaczania charakterystyk statycznych i metrologicznych URPP. Ustalenie napięcia sygnału WZS. Rozpoczęcie pomiaru i oczekiwanie założonego czasu (typowo 5 s) z jednoczesną rejestracją danych pomiarowych. Zatrzymanie pomiaru. Analiza danych.

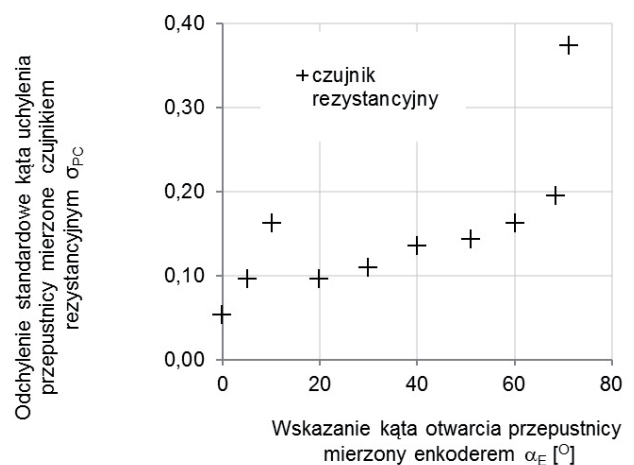


Rys. 3. Charakterystyka statyczna sensora rezystancyjnego
Fig. 3. Static characteristic of a resistive throttle angle sensor

3. Tryb wyznaczania charakterystyk dynamicznych URPP. Ustalenie położenia przepustnicy po wykonaniu skoku wartości zadanej WZ za pomocą rezystora nastawnego (TRG w stanie wysokim). Nastawienie UW. Rozpoczęcie pomiaru poprzez zmianę stanu sygnału TRGS z niskiego na wysoki. Rozpoczęcie pomiaru i rejestracji. Oczekiwanie założonego czasu (0,1 s). Zmianę stanu sygnału TRG powodujący skok WZS o zadaną wartość. Utrzymanie WZS w tym stanie przez zadany czas (5 s). Zmiana stanu sygnału TRG powodujący skok WZS do wartości początkowej (0 V). Oczekiwanie założonego czasu (decyduje operator). Zatrzymanie pomiaru. Analiza danych.

3. Wyniki

System testujący wykorzystano do przeprowadzenia badań układu regulacji położenia przepustnicy wykonanego przez studentów z koła naukowego Klakson z Politechniki Opolskiej. Studenci opracowali aplikację układu sterowania położeniem



Rys. 4. Zależność odchylenia kąta uchylenia przepustnicy mierzonego czujnikiem rezystancyjnym i za pomocą enkodera
Fig. 4. Dependency of standard deviation of throttle angle sensor in function of angle of measured by encoder

przepustnicy sterowanej za pomocą silnika elektrycznego prądu stałego z jednym tranzystorem (bez mostka H). Założeniem ich projektu było wykorzystanie jak najmniejszej liczby elementów elektronicznych do budowy układu sterownika. Układ regulacji składał się ze sterownika połączonego z elektrycznie sterowaną przepustnicą. Wyposażona jest w szczotkowy silnik prądu stałego jako układ napędowy i przeciwdziałającą otwieraniu przepustnicy sprężynę spiralną oraz rezystancyjny czujnik położenia. Wał przepustnicy sprzężono z enkoderem za pomocą sprzęgła stałego. Badania przeprowadzono w temperaturze otoczenia równej 20 °C, a obiekt badań umieszczono na stabilnym stole. Pomiary przeprowadzono wielokrotnie w kilku następujących po sobie dniach. Badania przepustnicy prowadzono do kąta 80°, ponieważ – jak wskazują badania Wendekera i innych [17] – powyżej tej wartości nie zaobserwowano istotnej zmiany przepływu strumienia powietrza przez przepustnicę.

3.1. Charakterystyka metrologiczna czujnika położenia przepustnicy

W pierwszej kolejności sprawdzono wskazania Rezystancyjnego Czujnika Położenia Przepustnicy (RCPP) w odniesieniu do wskazań enkodera. Przepustnicę ustalano w wybranych 10 położeniach kątowych. Dla tych położzeń zmierzono napięcie i wyznaczono charakterystykę napięciową RCPP, która okazała się być liniowa w zakresie napięcia wyższego od 0,75 V do 3,75 V dla kątów od 0° do 80° (rys. 3).

Początkowa, niezerowa wartość napięcia przy zerowym kącie została dobrana celowo przez producenta dla potrzeb diagnostyki, jednak ogranicza też rozdzielczość pomiaru kąta z wykorzystaniem przetwornika A/C mierzącego w zakresie od 0 V do 5 V o 1/3.

Odchylenie standardowe kolejnych punktów pomiarowych było na tyle małe, że nie zostało zaznaczone na rys. 3, ponieważ nawet trzykrotne wartości odchylenia standardowego nie przekraczały $3\sigma = 0,05$ V. Kątowe odchylenie standardowe czujnika rezystancyjnego wyrażone w stopniach kątowych (rys. 4) wynosi w przybliżeniu $\sigma_{PC} \approx 0,15^\circ$ ($\sigma_{PCmin} = 0,05^\circ$ i $\sigma_{PCmax} = 0,37^\circ$).

Przeanalizowano także odchylenie standardowe położenia kątowego mierzonego za pomocą enkodera, które we wszystkich przypadkach wynosiło $\sigma_{aE} = 0^\circ$. Dowodzi to braku drgań, gdy układ wg wskazań RCPP znajdował się w stanie ustalonym, oraz o precyzji ustalenia zbliżonej do rozdzielczości enkodera ($\sigma_{aE} = 0^\circ$).

3.2. Charakterystyka dynamiczna

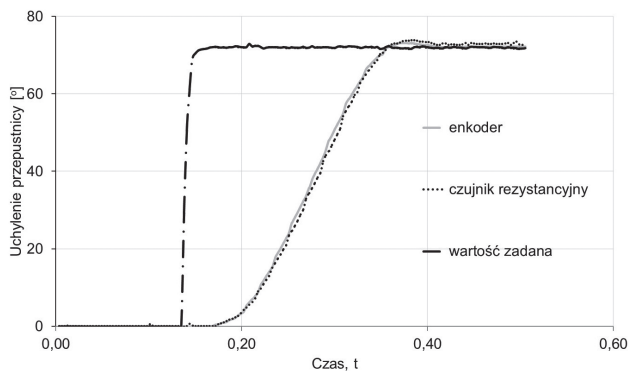
Charakterystykę dynamiczną układu regulacji położenia przedstawiono na rys. 5. Widać na nim odpowiedzi na wymuszenie skokowe wartości zadanej.

Zauważalny jest czas martwy (t_m), a inercja układu wyrażana jest m.in. przez stałą czasową (t_c). Jak widać także na rys. 7, czas ten jest równy odpowiednio $t_c = 0,05$ s i $t_m = 0,12$ s.

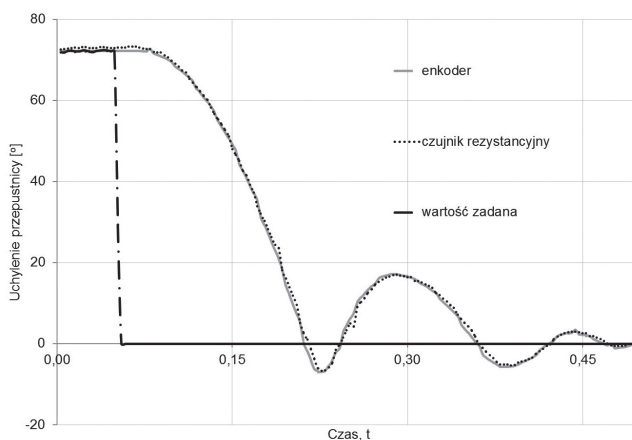
Podczas zamykania przepustnicy również zaobserwowano niezerowe wartości t_c i t_m . Dla tego przypadku (rys. 8) wartość $t_m = 0,03$ s i $t_c = 0,1$ s.

Na rys. 6 można zaobserwować oscylację gasnącą. Uznano, że wynika to bezpośrednio z fizycznej konstrukcji przepustnicy, gdzie występuje zarówno ogranicznik, jak i sprężyna. Po szybkim zamknięciu, przepustnica odbija się kilkukrotnie od ogranicznika i powoduje widoczną na rys. 6 oscylację.

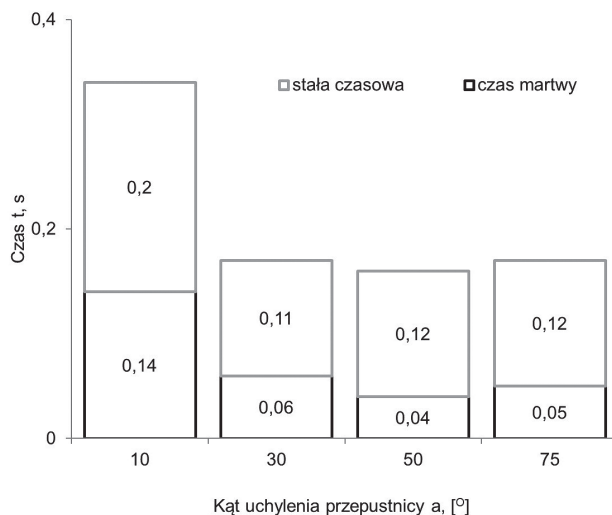
Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono zestawienie wartości t_m i t_c przy wybranych kątach otwarcia przepustnicy. Czasy przy otwieraniu są znacznie większe niż przy zamykaniu. Różnica wynosi około 0,02 s dla każdej wartości t_m i t_c .



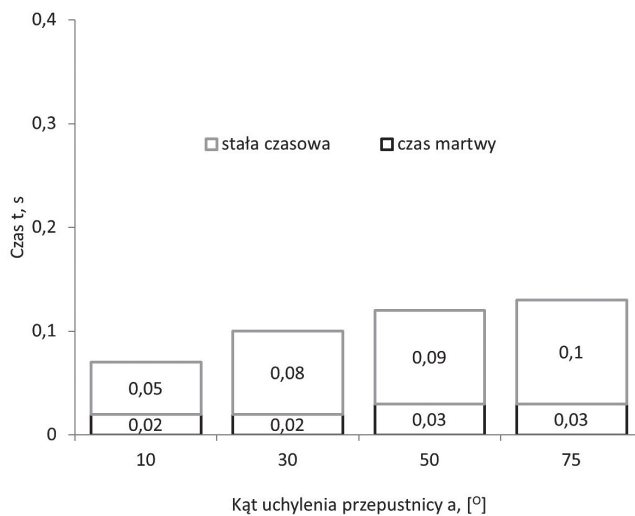
Rys. 5. Odpowiedź skokowa podczas otwierania przepustnicy
Fig. 5. Step response during opening of a throttle



Rys. 6. Odpowiedź skokowa podczas zamykania przepustnicy
Fig. 6. Step response during closing of a throttle



Rys. 7. Stała czasowa i czas martwy dla otwierania przepustnicy
Fig. 7. Time constant and dead time during opening a throttle



Rys. 8. Stała czasowa i czas martwy dla zamykania przepustnicy

Fig. 8. Time constant and dead time during opening a throttle

4. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych testów oraz na podstawie doświadczeń zebranych podczas badań i eksploatacji prototypowego systemu testowego dla układów regulacji położenia nasunęło się kilka spostrzeżeń i wniosków.

Zakończenie pomiaru w stanie ustalonym powinno się odbywać także po ustalonym czasie. Wówczas pliki z danymi zawierałyby taką samą liczbę danych, a to ułatwiłoby analizę.

Z drugiej strony, liczba pomiarów (ponad 8000 na próbę) i odchylenia długości pomiaru rzędu 300 próbek pozwalają sądzić, że określone parametry statystyczne nie będą różnić się w sposób istotny ze względu na asymptotycznie malejącą istotność wraz z liczebnością próby [13].

Można ten problem rozwiązać zmieniając oprogramowanie lub dodać do układu indykatorki uzyskania minimalnej liczebności próby.

Opcję ręcznego (przez naciśnięcie przycisku SW2) kończenia pomiaru należy utrzymać, ponieważ nie zawsze znana jest stała czasowa układu i w tym przypadku korzystne jest, aby osoba testująca decydowała o zakończeniu zbierania danych.

Wyznaczanie charakterystyki statycznej i metrologicznej można zautomatyzować przez zastosowanie rezystora nastawnego sterowanego, np. z wykorzystaniem jednej z magistral danych (SPI, I²C itp.). Jednak musi uprzednio być wykonany test określający zakres napięcia generowanego przez zadajnik.

Badany regulator wykazał dobre własności statyczne, ponieważ niepewność ustalenia nie przekraczała $\pm 0,09^\circ$.

Jest możliwość polepszenia dynamiki układu regulacji o około 50 % przez zmianę parametrów regulatora PID.

Dla układu regulacji z dodatkowym aktuatorem linkowym zastosowany układ regulacji nie jest korzystny. Wynika to ze zwiększonych sił potrzebnych do zamknięcia przepustnicy spowodowanych tarciem linki o pancierz. Z tego powodu sprężyna wymaga większej siły, aby zamknąć przepustnicę, a to wydłuża czas zamykania.

Bibliografia

- Amundson K., Raade J., Harding N., Kayerooni H., *Hybrid Hydraulic-Electric Power Unit for Field and Service Robots*, [w:] „International Conference on Intelligent

- Robots and Systems, 2005 IEEE/RSJ”, Vol. 20, No. 9, 2006, 1015–1034. DOI: 10.1163/156855306778394058.
- Dziubański S., *Poprawa bilansu energetycznego w silniku spalinowym przez zastosowanie turbogeneratora*, praca doktorska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole 2011.
- Dziubiński M., *Badania symulacyjne układu wtryskowego benzyny Bosch Motronic*, „Postęp Nauki i Techniki”, nr 14, Lublin 2012, 75–82.
- Jantos J., Mamala J., *Zintegrowany system sterowania napędu samochodu osobowego*, Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej, seria Mechanika z. 56, nr 241, 1998, 33–46.
- Jantos J., Mamala J., *Elektroniczna regulacja naplnienia w silniku ZI*, KONES 2000, Nałęczów 2000.
- Jantos J., *Drive control in passenger car*, „Journal of Kones, Internal Combustion Engines”, Vol. 6, No. 1–2, 48–57, Warszawa 1999.
- Mamala J., Jantos J., Brol S., Malewicz K., Bieniek A., *Układ doładowania silnika o zapłonie iskrowym*, „JOK Powertrain and Transport”, Vol. 14, No. 2, 2007, 167–179.
- Mamala J., Siłka W., *Throttle Range And Speed Motion Programming in SI Engine*, „Journal of KONES. Internal Combustion Engines”, No. 1–2, 2002, 181–187.
- Merkisz J., Pielecha J., Radzimirski S., *New Trends in Emission Control in the European Union*, „Springer Tracts on Transportation and Traffic”, Vol. 4. DOI: 10.1007/978-3-319-02705-0.
- Merkisz J., Rychter M., Lijewski P., *Diagnozowanie pracy silnika o zapłonie samoczynnym w trybie on-line*, „Journal of KONES. Combustion Engines”, Vol. 8, No. 3–4, 2001, 9–17.
- Merkisz J., Rychter M., *Przystosowanie systemu OBD II do silnika ZS*, „Journal of KONES. Internal Combustion Engines”, Vol. 7, No 1–2, 2000, 390–403.
- Mir-Nasiri N., Hussaini S., *New Intelligent Transmission Concept for Hybrid Mobile Robot Speed Control*, „International Journal of Advanced Robotic Systems”, Vol. 2, No 3, 2005, 259–263. DOI: 10.5772/5784.
- Szpica D., *Simulation tests on air flow through selected types of throttle bodies*, PTNSS-2010-SS1-105.
- Tomaszewski A., *Podstawy nowoczesnej metrologii*, WN-T, Warszawa 1978.
- Typańska D., Putz Ł., *Badania samochodu napędzanego silnikiem FSI – systemem elektronicznego sterowania bezpośrednim wtryskiem benzyny*, Prace Instytutu Elektrotechniki, Politechnika Poznańska, z. 260, 2012.
- Vidal Y., Aho L., Pozo F., *Robust Control of an Electronic Throttle System Via Switched Chattering Control: Benchmark Experiments*, Departament de Matemàtica Aplicada III, Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Comte d'Urgell, 187, 08036 Barcelona.
- Wendeker M., Grabowski Ł., Pietrykowski K., Magryta P., *Flow simulation through Wankel engine throttle using computational fluid dynamics*, „Journal of KONES. Powertrain and Transport”, Vol. 18, No. 1, 2011, 677–682.

Prototype Test System to Use the Throttle Position Control System

Abstract: This paper presents a new prototype microcontroller test system for testing and test control systems used in the throttle position and vehicle works. The system is designed to allow determination of selected (static and dynamic) characteristics of the test/test control system. The assumptions of the construction and operation of the test system and discusses the functions performed by the system, as well as scalability. The article presents some solutions to adapt the system to the needs of the study throttle position control systems that allow the study of specific properties of the control systems. The results of the tests provided for adjusting the position of the prototypethrottle controller and presents obtained by means of the system, the characteristics of the entire control system, were presented.

Keywords: throttle, encoder, regulator, electric actuator

mgr inż. Rafał Czok

rafalczok@gmail.com

Doktorant w Katedrze Pojazdów Drogowych i Rolniczych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. Zajmuje się modelowaniem i identyfikacją zespołów pojazdów samochodowych.



dr hab. inż. Sebastian Brol

s.brol@po.opole.pl

Pracownik samodzielny w Katedrze Pojazdów Drogowych i Rolniczych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. Główne obszary pracy to testowanie pojazdów samochodowych, budowa urządzeń pomiarowych i diagnostyka.

