

Paweł OBSTAWSKI

SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA WIEJSKIEGO, WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI,
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa

Badanie procedury samostrojzenia cyfrowego regulatora PID

Dr hab. inż. Paweł OBSTAWSKI

Absolwent Wydziału Inżynierii Produkcji Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Zajmuje się automatyką, problematyką związaną ze słonecznymi instalacjami grzewczymi i hybrydowymi systemami zasilania. Autor i współautor 38 publikacji naukowych w tym książki poświęconej programowaniu sterowników PLC. Obecnie zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Podstaw Inżynierii Wydziału Inżynierii Produkcji SGGW.



e-mail: pawel_obstawski@sggw.pl

Streszczenie

Przedstawiono procedurę autotuning alorytmu PID zaimplementowaną w przemysłowym regulatorze cyfrowym. Procedura składa się z dwóch etapów: identyfikacji obiektu regulacji oraz wyliczenia nastaw regulatora PID z jednego z dostępnych kryteriów. W badaniach skupiono się na etapie identyfikacji obiektu regulacji, który można przeprowadzić za pomocą metody Zieglera-Nicholsa i Cohena-Coona. Badania wykonano w warunkach laboratoryjnych co umożliwiło określenie powtarzalności wyników.

Słowa kluczowe: regulator PID, samostrojzenie PID, identyfikacja obiektu.

The study of digital PID autotuning procedure**Abstract**

The procedure of PID controller autotuning is presented in the paper. It consists of two steps: identification of the control object and calculation of PID controller settings with one of the available criteria. A user has the possibility to interfere in the procedure of autotuning. By the definition value of the specified control register, the user selects the identification method, determines the value of stabilization time and the stabilization deviation as well as defines the criterion of controller settings. The stabilization of deviation and the time of stabilization determine the steady state of the object, and so the duration of the autotuning procedure. This paper is focused on the identification process of the object control, which can be realized by the Ziegler-Nichols and Cohen-Coon methods. Investigations were performed in a laboratory for different combinations of the deviations of stabilization and the stabilization times. This allowed determining the repeatability of the autotuning procedure results. These results show that the identification process accuracy of the object of control depends on the value of the deviation of stabilization and the stabilization time defined by the user. Regardless of the identification method, the value of the deviation of stabilization should be as small as possible and should be on 1% level. In case of identification of the control object by the Ziegler-Nichols method, the minimum value of the stabilization time should be about 25% of the time constant of the control object. In case of identification of the control object by the Cohen-Coon method, the minimum value of the stabilization time should be 45% value of the time constant of the control object. Use of both methods of the control object identification gave reproducible results, which demonstrates the stability of the autotuning procedure.

Keywords: PID controller, autotuning PID controller, identification of the control object.

1. Wstęp

Regulator PID jest liniowym, algorytmem regulacji ciągłej i pomimo tego, iż minęło blisko dziewięćdziesiąt lat od chwili jego powstania jest nadal powszechnie stosowany. Algorytm PID doczekał się wielu modyfikacji, jednak nadal klasyczna struktura implementowana jest w zaawansowanych technicznie regulatorach przemysłowych oraz sterownikach PLC. Pomimo nowoczesnych technik strojenia regulatora opartych min. algorytmach rozmytych [1] algorytmach genetycznych [2] czy na metodach numerycznych [3] nadal jest aktualny problem identyfikacji obiektu

tu i doboru nastaw zapewniających optymalną jakość regulacji [4, 5]. Występuje on głównie w przypadku regulacji obiektów o nieliniowej charakterystyce statycznej, w których zachodzi konieczność częstej zmiany punktu pracy [6]. Z tego też względu w wielu regulatorach przemysłowych i sterownikach PLC dostępne są procedury samostrojzenia, umożliwiające automatyczny dobór nastaw regulatora PID w określonym punkcie pracy. Procedury samostrojzenia narzucają zazwyczaj określoną strukturę modelu obiektu i przeprowadzają przybliżoną identyfikację jego parametrów, co umożliwia obliczenie nastaw regulatora z określonego kryterium. W procedurach samostrojzenia stosowane są zazwyczaj modele uproszczone gdyż użyteczne są tylko modele, których parametry można szybko zidentyfikować [5]. Otrzymany w procesie identyfikacji model jest zatem uproszczeniem rzeczywistego procesu, co w rezultacie może przełożyć się na uzyskaną jakość regulacji niższą od założonej. W celu uzyskania wymaganej jakości regulacji stosuje się dostrajanie regulatora PID [6, 7].

Jednym z mankamentów procedur samostrojzenia jest to, że zazwyczaj w dokumentacjach technicznych szczegóły zaimplementowanych algorytmów samostrojzenia nie są ujawniane przez producentów. Do wiadomości użytkownika podawane są ogólne informacje dotyczące sposobu uruchomienia i przeprowadzenia procedury samostrojzenia, a jako wynik procedury podawane są nastawy regulatora. Brak jest innych istotnych informacji min.: dotyczących właściwości dynamicznych obiektu regulacji czy kryterium doboru nastaw. Jednakże w sprzedaży dostępne są regulatory, w których wymienione niuanse nie występują a ponadto zaimplementowane procedury samostrojzenia umożliwiają znaczną ingerencję użytkownika. Przykładem może być cyfrowy regulator LB600.

2. Procedura samostrojzenia

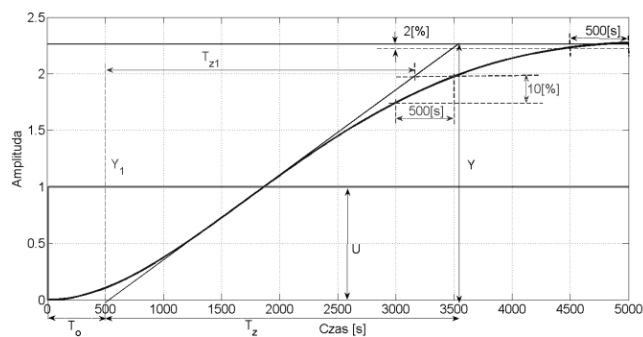
Zaimplementowana w regulatorze LB600 procedura samostrojzenia składa się z dwóch etapów: identyfikacji obiektu oraz wyliczenia nastaw regulatora. Przed uruchomieniem procedury użytkownik musi doprowadzić obiekt w okolice założonego punktu pracy. Proces identyfikacji może zostać przeprowadzony dwoma metodami: Zieglera-Nicholsa lub Cohena Coona o czym decyduje użytkownik [8]. Ze względu na fakt, iż obie metody identyfikacji bazują na charakterystyce skokowej obiektu, przed rozpoczęciem procedury samostrojzenia regulator doprowadza obiekt do stanu ustalonego. Gdy obiekt znajduje się w stanie ustalonym regulator zwiększa skokowo sygnał nastawczy o wartość zadeklarowaną przez użytkownika i czeka do chwili, aż obiekt osiągnie stan ustalony.

Stan ustalony obiektu regulacji definiowany jest przez użytkownika poprzez określenie wartości dwóch parametrów: czasu stabilizacji procesu i uchybu stabilizacji. Czas stabilizacji rozumiany jest jako czas w którym uchyb stabilizacji osiągnie określoną zdefiniowaną w procentach wartość. Uchyb stabilizacji określa natomiast procentową zmianę sygnału regulowanego w czasie stabilizacji. Przykładowo jeśli czas stabilizacji wynosi pięćset sekund a uchyb stabilizacji 2 % wówczas regulator będzie traktował, że obiekt znajduje się w stanie ustalonym jeśli wartość sygnału wyjściowego nie zmieni się więcej niż o 2% w czasie pięciuset sekund (rys. 1, 2). Gdyby dla czasu stabilizacji wynoszącego pięćset sekund zwiększyć uchyb stabilizacji z 2% do 10% wówczas wartość zastępczej stałej czasowej oraz współczynnika wzmocnienia obiektu regulacji wyznaczona przez procedurę samostrojzenia zarówno metodą Zieglera-Nicholsa jak i Cohena-Coona by się zmniejszyła (rys. 1, 2). Im dłuższy jest czas stabilizacji i mniejszy uchyb stabilizacji tym czas potrzebny do osiągnięcia stanu ustalonego przez obiekt jest dłuższy a wyznaczone parametry określające dynamikę obiektu bardziej dokładne. Na-

suwa się zatem pytanie: ile powinien wynosić czas i uchyb stabilizacji aby w dokładny sposób wyznaczyć właściwości dynamiczne obiektu przy jak najkrótszym czasie trwania procedury? W celu odpowiedzi na to pytanie w niniejszym opracowaniu rozważania dotyczyć będą etapu identyfikacji obiektu, który jest kluczowym w procesie strojenia regulatora [5].

Obie metody identyfikacji obiektu regulacji bazują na eksperymentalnym wyznaczeniu charakterystyki skokowej jednakże definitywnie różnią się pod względem algorytmu wyznaczania wartości parametrów dynamicznych zidentyfikowanego obiektu [9].

Wartość zastępczej stałej czasowej T_Z oraz czas opóźnienia obiektu regulacji T_0 za pomocą metody Zieglera – Nicholasa zwaną również metodą stycznicy określa się z równania stycznicy poprowadzonej do punktu przecięcia sporządzonej eksperymentalnie charakterystyki skokowej (rys. 1). Wartość współczynnika wzmocnienia oblicza się jako stosunek przyrostu sygnału wyjściowego w odpowiedzi na skokową zmianę sygnału wejściowego.



Rys. 1. Identyfikacja obiektu metodą Zieglera - Nicholasa
Fig. 1. Object identification by Ziegler - Nichols method

Metoda identyfikacji Cohena - Coona zwaną metodą siecznej (rys. 2) polega na wyznaczeniu wartości czasu kiedy odpowiedź obiektu regulacji na skokową zmianę wartości sygnału wejściowego osiągnie 50% (czas t_1) i 63,2% (czas t_2). Dysponując wartościami czasów t_1 i t_2 możliwe jest korzystając z zależności (1 - 3) wyznaczenie wartości czasu opóźnienia i zastępczej stałej czasowej obiektu regulacji.

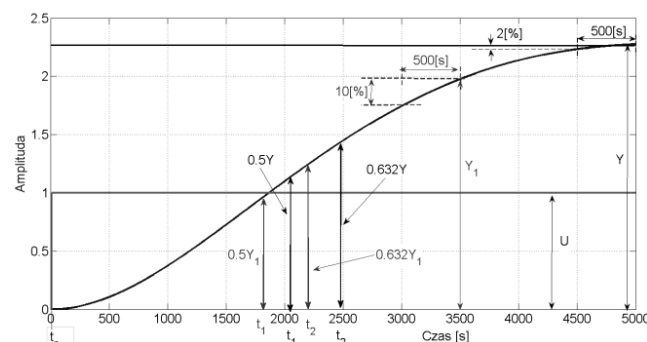
$$t = \frac{t_1 - \ln(2)t_2}{1 - \ln(2)} \quad (1)$$

gdzie: t – czas pomocniczy [s]

$$T_Z = t_2 - t \quad (2)$$

$$T_0 = t_1 - t_p \quad (3)$$

gdzie: t_p – czas skokowej zmiany wartości sygnału wejściowego [s]



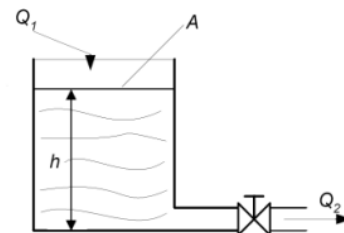
Rys. 2. Identyfikacja obiektu metodą Cohena-Coona
Fig. 2. Object identification by Cohen-Coon method

Wartość współczynnika wzmocnienia k obiektu określana jest identycznie jak w przypadku metody Zieglera – Nicholasa.

Dysponując wartościami parametrów określających dynamikę obiektu regulator wykonuje drugi etap procedury samostrojenia polegający na wyliczeniu wartości nastaw zaimplementowanego regulatora (PI lub PID). Użytkownik ma do wyboru kilka kryteriów doboru nastaw i sam określa z którego nastawy mają być wyliczone. Proponowane rozwiązanie umożliwi ingerencję użytkownika w procedurę samostrojenia, wykorzystanie wiedzy eksperckiej użytkownika oraz dostosowanie procedury do wymagań eksploatacyjnych regulowanego obiektu.

3. Opis techniczny obiektu

Badania procedury samostrojenia przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych. Umożliwiło to powtórzenie procedury w danym punkcie pracy przy ustalonych parametrach pracy. Dało to możliwość oceny powtarzalności otrzymanych wyników. Obiektem regulacji był zbiornik z wodą z wypływem swobodnym (rys. 3). Do zbiornika o stałej objętości A z odpływem swobodnym, wlewano wodę za pomocą pompy o płynnie regulowanej wydajności Q_1 . Pompę ze zbiornikiem połączono węzownicą co umożliwiło stworzenie sztucznego opóźnienia transportowego.



Rys. 3. Poglądowy schemat obiektu regulacji
Fig. 3. Scheme of the control object

Zbiornik z wodą z wypływem swobodnym jest obiektem inercyjnym pierwszego rzędu z opóźnieniem transportowym opisanym ogólną zależnością 4. Za parametry określające jego właściwości dynamiczne należy rozumieć zastępczą stałą czasową T_Z , czas opóźnienia T_0 oraz współczynnik wzmocnienia k .

$$G(s) = \frac{k}{T_Z s + 1} e^{-sT_0} \quad (4)$$

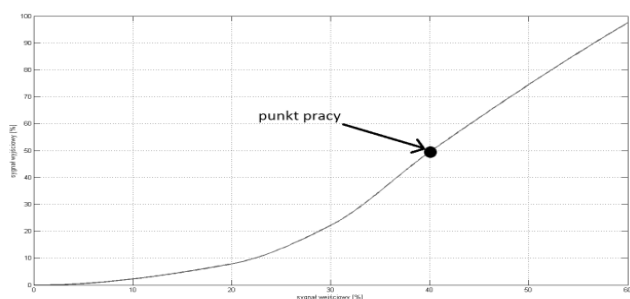
Ze względu na fakt, iż sygnał wejściowy (wydajność pompy Q_1) i sygnał wyjściowy (poziom wody w zbiorniku h) mają różną miano w celu łatwej interpretacji uzyskanych wyników ujednolicono zakresy obu sygnałów - sygnał wejściowy i wyjściowy wyskalowano w procentach. Należy zatem przyjąć, że wartość sygnału wejściowego wynosząca 0 % odpowiada postojowi pompy, a w przypadku sygnału wyjściowego pustemu zbiornikowi. Wartość sygnału wejściowego wynosząca 100% odpowiada maksymalnej wydajności pompy a w przypadku sygnału wyjściowego maksymalnemu poziomowi wody w zasobniku.

4. Analiza charakterystyki statycznej obiektu

Algorytm regulacji PID jest algorytmem liniowym z tego też względu przed przystąpieniem do badania procedury samostrojenia wyznaczono charakterystykę statyczną obiektu regulacji (rys. 4).

Tab. 1. Właściwości dynamiczne obiektu regulacji wyznaczone przy użyciu procedury autotuningu
 Tab. 1. Dynamic properties of the control object determined by the autotuning procedure

Eksperyment	Parametry		Metoda Zieglera-Nicholsa						Metoda Cohena-Coona					
	Uchyb stabilizacji	Czas stabilizacji	Parametry obiektu			błąd względny, %			Parametry obiektu			błąd względny, %		
	%	s	T_0, s	T, s	k	T_0	T	k	T_0, s	T, s	k	T_0	T	k
1	1	5	4,865	10,212	0,285	18,916	84,167	83,235	19,678	3,567	0,117	227,967	88,134	93,117
		10	5,185	33,34	0,9	13,583	48,31	47,058	10,173	26,3	0,491	69,55	74,728	71,117
		15	5,023	45,304	1,105	16,283	29,761	35,0	10,339	34,318	0,915	72,3167	46,793	46,176
	3	5	5,273	13,724	0,406	12,116	78,722	76,117	17,281	25,234	0,32	188,017	60,877	81,176
		10	4,838	17,283	0,492	19,367	73,204	71,058	23,7	21,186	0,313	295,0	67,153	81,588
		15	6,868	20,056	0,553	14,466	68,905	67,470	13,718	26,641	0,373	128,633	58,696	78,058
	6	5	6,497	25,534	0,657	8,2833	60,412	61,352	9,18	15,829	0,671	53,0	75,458	60,529
		10	4,862	27,864	0,75	18,966	56,8	55,882	11,82	18,724	0,717	97,0	70,970	57,823
		15	4,079	26,968	0,824	32,016	58,189	51,529	11,812	21,467	0,758	96,866	66,717	55,411
2	1	5	4,308	12,288	0,382	4,433	80,948	77,529	16,571	4,218	0,178	9,516	93,460	89,529
		10	4,758	36,891	1,013	20,7	42,804	40,411	10,8	30,228	0,599	80,0	53,134	41,235
		15	5,734	58,629	1,409	28,2	9,102	17,117	10,769	39,575	1,215	79,4833	38,643	28,529
	3	5	6,319	13,179	0,388	5,316	79,567	77,176	8,701	11,021	0,362	45,0167	82,913	78,705
		10	4,378	17,644	0,485	27,033	72,644	71,47	9,242	10,185	0,485	54,0333	84,209	71,47
		15	4,318	19,443	0,594	28,033	69,855	65,058	8,686	13,38	0,526	44,7667	79,255	69,058
	6	5	4,232	21,457	0,672	29,466	66,733	60,47	8,287	15,818	0,678	38,1167	75,475	60,117
		10	4,235	26,404	0,779	29,416	59,063	54,176	8,192	18,867	0,732	36,5333	70,748	56,941
		15	5,564	25,492	0,826	7,266	60,477	51,411	8,997	18,082	0,825	49,95	71,965	51,47



Rys. 4. Charakterystyka statyczna obiektu
 Fig. 4. Static characteristic of the object

Wyznaczenie charakterystyki statycznej miało na celu ustalenie punktu pracy na liniowym odcinku charakterystyki. Charakterystyka statyczna (rys. 4) jest silnie nieliniowa w zakresie wartości sygnału wejściowego mieszczącego się w przedziale 0% do 35%. W przedziale od 35% do 100% zakresu sygnału wejściowego można przyjąć, że charakterystyka statyczna jest liniowa. Punkt pracy przyjęto na liniowym odcinku charakterystyki odpowiadającym napełnieniu zasobnika w 50%.

5. Metodyka i analiza uzyskanych wyników

Z przedstawionej w punkcie 2 analizy wynika, że dokładność identyfikacji obiektu regulacji zależy bezpośrednio od wartości czasu stabilizacji i uchybu stabilizacji określających stan ustalony obiektu, których wartości definiowane są przez użytkownika. W celu uzyskania wzorca, do którego można by odnieść uzyskane w procesie identyfikacji wyniki, dokonano manualnej identyfikacji obiektu w okolicy punktu pracy. Właściwości dynamiczne obiektu regulacji można opisać za pomocą transmitancji operatorowej.

$$G(s) = \frac{1,7}{64,5s + 1} e^{-6s} \quad (5)$$

Procedurę samostrojania przeprowadzono wyznaczając właściwości dynamiczne obiektu zarówno metodą Zieglera-Nicholsa jak i Cohena Coona. Proces identyfikacji przeprowadzony został dla kombinacji trzech wartości uchybu stabilizacji wynoszących 1%, 3%, 6% i trzech czasów stabilizacji wynoszących 5 sekund, 10 sekund i 15 sekund. Eksperyment dla każdej z kombinacji wykonywany był dwukrotnie dla wymuszenia skokowego wynoszącego 10%, a otrzymane wyniki porównano z wzorcowymi (tab. 1).

Porównując z wzorcem wartość czasu opóźnienia wyznaczonego za pomocą metody Zieglera-Nicholsa można zaobserwować zbieżność dla wszystkich kombinacji uchybu i czasu stabilizacji. Największą zbieżność uzyskano dla 1% uchybu stabilizacji oraz czasu stabilizacji równego 15 sekund, natomiast najmniejszą dla uchybu wynoszącego 6% i czasu stabilizacji 15 sekund. Należy jednakże zaznaczyć, że w analizowanym przypadku wartość czasu opóźnienia w odniesieniu do zastępczej stałej czasowej obiektu regulacji jest mała i powstałe błędy nie wpłyną znacząco na wartości nastaw poszczególnych członów regulatora. Porównując wartości stałej czasowej i współczynnika wzmocnienia wyznaczonych przez procedurę samostrojania metodą Zieglera-Nicholsa z wzorcowymi można zaobserwować wpływ wartości uchybu oraz czasu stabilizacji na dokładność procedury. Identycznie jak w przypadku czasu opóźnienia najmniejszy błąd równy 9,1% uzyskano dla uchybu stabilizacji wynoszącego 1% przy czasie stabilizacji wynoszącym 15 sekund, największy błąd równy 84,17%, uzyskano dla uchybu wynoszącego 1% i czasu stabilizacji wynoszącego 5% (tab. 1). Podobnie jest w przypadku wartości współczynnika wzmocnienia obiektu regulacji. Najmniejszą zbieżność otrzymanych wyników z wartością wzorcową otrzymano dla uchybu wynoszącego 1% i czasu stabilizacji wynoszącego

5 sekund. Największą zbieżność uzyskano zgodnie z oczekiwaniami dla czasu stabilizacji wynoszącego 15 sekund i błędu stabilizacji wynoszącego 1%. Analizując otrzymane wyniki należy zwrócić uwagę na ich powtarzalność w obu eksperymentach, co świadczy o stabilności procedury samostrojzenia. W tabeli 1 przedstawione zostały również wyniki procedury samostrojzenia dla identyfikacji obiektu przeprowadzonej za pomocą metody Cohena-Coona. Porównując otrzymane wyniki z wzorcem niezależnie od kombinacji uchybu regulacji i czasu stabilizacji należy zaobserwować znaczne rozbieżności. Czas opóźnienia wyznaczonego poprzez procedurę dla uchybu regulacji wynoszącego 1% przy czasie stabilizacji 5 sekund obarczony jest ponad 200% błędem. Jeszcze większymi błędami obarczone są wartości zastępczej stałej czasowej oraz współczynnika wzmocnienia wyznaczone przez procedurę. W przypadku uchybu stabilizacji wynoszącego 1% i czasu stabilizacji równego 15 sekund, dla których dokładność powinna być największa wyznaczona przez procedurę wartość czasu opóźnienia obarczona jest ponad 73% błędem, wartość stałej czasowej i współczynnika wzmocnienia obiektu regulacji jest blisko dwukrotnie niższa od wzorcowej. W przypadku identyfikacji obiektu metodą Cohena-Coona dostateczną zbieżność wyników z wzorcowymi otrzymano dla uchybu regulacji wynoszącego 1% i czasu stabilizacji wynoszącego 25 sekund.

6. Wnioski

Dokonując strojenia regulatora PID najbardziej istotnym etapem mającym największy wpływ na jakość regulacji jest identyfikacja obiektu regulacji. Z tego też względu w niniejszym opracowaniu skupiono się na procesie identyfikacji testowanej procedury samostrojzenia. Testowana procedura umożliwia swobodną ingerencję użytkownika, co przekłada się na wykorzystanie wiedzy eksperckiej użytkownika oraz dostosowanie procedury do wymagań eksploatacyjnych regulowanego obiektu. Z otrzymanych wyników należy wnioskować, że dokładność procesu identyfikacji obiektu zależy od wartości uchybu regulacji i czasu stabilizacji określanych przez użytkownika. Niezależnie od metody identyfikacji Zieglera-Nicholsa czy Cohena-Coona wartość uchybu regulacji powinna być jak najmniejsza i wynosić 1%. W przypadku identyfikacji obiektu metodą Zieglera-Nicholsa minimalna wartość czasu stabilizacji powinna wynosić około 25% wartości

zastępczej stałej czasowej obiektu regulacji. W przypadku metody Cohena-Coona wartość czasu stabilizacji powinna wynosić około 45% wartości zastępczej stałej czasowej. Z tego też względu w przypadku gdy przy zmianie punktu pracy wymagane jest szybkie oszacowanie nastaw, stosując procedurę samostrojzenia regulatora do identyfikacji obiektu należy stosować metodę Zieglera-Nicholsa. Dokonując identyfikacji obiektu obiema metodami uzyskano powtarzalność wyników, co świadczy o stabilności procedury samostrojzenia.

7. Literatura

- [1] Rodrigo M.A., Seco A., Ferrer J., Peña-roja J. M., Valverde J. L.: Nonlinear control of an activated sludge aeration process: use of fuzzy techniques for tuning PID controllers. ISA Transactions, vol. 38, s. 231-241, 1999.
- [2] Sałat R., Winiczenko R., Awtoniuk M.: Dobór nastaw regulatora PID zaimplementowanego w sterowniku PLC przy wykorzystaniu algorytmów genetycznych. Pomiary Automatyka Kontrola, vol. 5, s. 427 – 430, 2012.
- [3] Padma Sree R., Srinvas M. N., Chidambaram M.: A simple method of tuning PID controllers for stable and unstable FOPTD systems. Computers and Chemical Engineering, vol. 28, s. 2201 – 2218, 2004.
- [4] Baker G.: Czy można polegać na funkcjach autotuningu regulatora PID. Control Engineering Polska, vol.3, s. 54 – 57, 2010.
- [5] Skoczkowski S., Osypiuk R., Pietruszewicz K.: Odporna regulacja PID o dwóch stopniach swobody w praktyce. PWN, Warszawa 2006.
- [6] Kula K.: Automatyczne strojenie regulatora PID w układzie on-line na podstawie identyfikacji metodą przekąźnikową. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, z. 62, str. 37 - 50, 2009.
- [7] Awtoniuk M.: Dostrajanie regulatora z pominięciem eksperymentu identyfikacji obiektu przy użyciu Imperialist Competitive Algorithm. Elektronika, vol. 12, s. 46 – 49, 2012.
- [8] Komor Z., Łobzowski A., Szkolnikowski W.: Technika regulacji – Regulator LB-600. Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2003.
- [9] O' Dwyer A: Handbook of PI and PID Controller tuning Rules. Imperial College Pres, London 2006.

otrzymano / received: 21.05.2013

przyjęto do druku / accepted: 02.12.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Wydawnictwo PAK

specjalizuje się w wydawaniu czasopisma Pomiary Automatyka Kontrola i książek popularno-naukowych w dziedzinie automatyki i pomiarów

Osoby i firmy przemysłowe zainteresowane współpracą z Wydawnictwem proszone są o kontakt bezpośredni dla uściślenia szczegółów współpracy

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa
ul. Świętokrzyska 14A
tel./fax 22 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice
ul. Akademicka 10, p. 30b
tel./fax 32 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl