

## Stanisław SKOCZOWSKI

POLITECHNIKA SZCZECIŃSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ, ZAKŁAD AUTOMATYKI

# O regulacji temperatury i regulacji MFC

Prof. dr hab. inż. Stanisław SKOCZOWSKI



Urodzony w 1936 r. Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej w 1959 r. W 1969 r. uzyskał tytuł doktora na Wydziale Elektrycznym Politechniki Wrocławskiej. W 1973 r. uzyskał tytuł doktora habilitowanego w Instytucie Cybernetyki Stosowanej PAN w Warszawie, a w 1978 r. tytuł profesora. W latach 1979, 83 był dziekanem Wydziału Elektrycznego, a w latach 1990, 93 rektorem Politechniki Szczecińskiej. Jest członkiem Komitetu Automatyki i Robotyki PAN. Autor około 140 artykułów, 2 książek i 3 monografii z zakresu z automatyki i pomiarów dynamicznych. Wypromował 13 doktorów. Od 1969 r. współpracował z przemysłowym Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Metrologii Elektrycznej MERA-LUMEL - obecnie LUMEL S.A. w Zielonej Górze w zakresie regulacji i regulatorów temperatury.

skocz@ps.pl

### Streszczenie

W artykule przedstawiono w części pierwszej przegląd ważniejszych prac związanych z regulatorami i regulacją temperatury prowadzonych w Zakładzie Automatyki IAP PS oraz w części drugiej zaprezentowano nową wersję regulacji model following control (MFC) z przyspieszonym modelem, która zapewnia jednocześnie dobre nadążanie i tłumienie zakłóceń.

### Abstract

In the first section a survey of more important papers devoted to temperature control and controllers based on results of research carried out at the Division of Automation is presented. In the second section it is proposed to employ a process model M purposely accelerated with respect to the actual process P in a Model Following Control system. Such a solution provides good tracking properties, good suppression of disturbances and reduces the impact of perturbations.

**Słowa kluczowe:** regulacja temperatury, regulacja odporna PID  
**Keywords:** temperature control, robust PID control

## 1. Przegląd prac

W roku 1969 została zapoczątkowana współpraca zespołu i potem powstałego w 1974 Zakładu Automatyki IAP PS z OBR ME LUMEL w dziedzinie regulacji temperatury i regulatorów przemysłowych. Trwała ona nieprzerwanie do połowy lat 80-tych [1, 2].

W latach 1987-1989 prowadzono też m. in. prace w zakresie regulacji temperatury stref grzejnych wyłaczarek tworzyw sztucznych uwiecznione wdrożeniem w Fabryce Kabli Załom 3 linii automatyki kompleksowej [3]. Współpraca z przemysłem była inspiracją do szeregu nowych koncepcji, nowatorskich rozwiązań teoretycznych oraz zastosowań praktycznych. Oczywiście nie tylko dotyczących regulacji temperatury. Badania dotyczyły między innymi analizy regulacji „on-off” z uwzględnieniem pojęcia średniego sterowania, syntezy i konstrukcji regulatorów dwustawnych z korekcją dynamiczną PID, algorytmów regulacji ciągłej, modelowania uproszczonego obiektów elektrotermicznych dla celów regulacji, metod i techniki identyfikacji dla celów samonastajania i doboru nastaw regulatorów itp. Owocem tych badań były m. in. prace [4÷25]. W szczególności w pracach [9, 10, 17, 19, 20] przedstawiono oryginalny sposób analizy pracy układów regulacji on-off rozróżniając stan rozruchu w którym występuje przeregulowanie, oraz stan pracy ustalonej z odpowiadającym mu zakresem oscylacji. Uwzględniono przy tym nieliniowość obiektu regulacji i wykazano związek tzw. asymetrii dynamicznej z charakterystyką statyczną obiektu elektrotermicznego. Problemy modelowania procesów elektrotermicznych z uwzględnieniem nieliniowości statycznej dla regulacji PID rozwinięto w pracach [21 i 22]. W pracy [26] przedstawiono nowe kryteria oceny jakości regulacji w kategoriach procesów stochastycznych na podstawie pomiarów tzw. częstotliwości Rice’a sygnału błędów i jego pochodnych, analizując układy regulacji obiektów wieloinercyjnych

z regulatorem PID w obecności zakłóceń losowych. Kryteria te pozwalały analizować jakość regulacji i efektywność różnych algorytmów i różnych regulatorów na podstawie prostych pomiarów w skończonym w czasie obserwacji, szacujących wariancję i zmienność sygnału błędów.

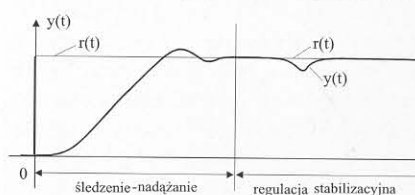
Prace [27÷34] prezentują i stanowią rozwinięcie oryginalnej metody szacowania parametrów modeli transmitancyjnych na podstawie dyskretnych pomiarów początku odpowiedzi skokowej i wykorzystanie jej do samonastajania regulatorów PID. W szczególności przedstawia się też wyniki weryfikacji metody z wykorzystaniem tzw. „charakterystyk rozgrzewu” obiektów elektrotermicznych z uwzględnieniem identyfikacji przybliżonej nieliniowej charakterystyki statycznej obiektu.

W powyższych pracach oraz [35÷38] zaprezentowano m. in. wykorzystanie pojęć średniej stałej czasowej oraz współczynnika rozrzutu stałych czasowych do modelowania dynamiki procesów cieplnych. Zaproponowano model transmitancyjny z rozrzutem stałych czasowych, przedstawiono sposób jego identyfikacji w szczególności w [35] zaprezentowano oryginalną, przybliżoną metodę analityczną, projektowania regulatora PID z wykorzystaniem marginesu fazy dla procesów wieloinercyjnych z opóźnieniem. Powyższe wyniki zostały podsumowane w pracy [44].

W pracach [39, 40] nawiązano do pewnej koncepcji sterowania obiektem z opóźnieniem [8], prezentując własności struktury Model Following Control (MFC) co zostało następnie rozwinięte w pracach [41÷50]. W szczególności w pracach [47, 50] dokonano prostej analizy porównawczej wrażliwości różnych struktur SISO układów regulacji z uwzględnieniem zakłóceń i perturbacji wykazując wysoką odporność i uniwersalność struktury MFC. W pracach [46, 48, 49] zaprezentowano oryginalną metodę projektowania odpornego regulatora PID z uwagi na dopuszczalne perturbacje multiplikatywne różniące znany model nominalny od nieznanego procesu. Metoda ta wykorzystuje nowy sposób przybliżonej analizy stabilności zamkniętego UAR z regulatorem PID oraz obiektem wieloinercyjnym z opóźnieniem, o znanej średniej stałej czasowej w oparciu o kryterium Nyquista [45, 46].

## 2. Regulacja MFC z przyspieszonym modelem procesu

Procesy elektrotermiczne można zaliczyć do typowych procesów wolnozmiennych, którym w regulacji temperatury często stawia się wymagania niewielkiego przeregulowania. To w sposób istotny pogarsza tłumienie zakłóceń i nadążanie za wartością zadaną. Poniżej przedstawiono nowe możliwości wykorzystania struktury MFC dla zapewnienia jednocześnie dobrego nadążania  $y$  za wartością zadaną  $r$  jak i dobrego tłumienia zakłóceń [52]. Jak wiadomo w klasycznym UAR te dwa zadania są sprzeczne. Rys. 1 przedstawia odpowiedź UAR



w fazie nadążania za wartością zadaną oraz w fazie regulacji stabilizacyjnej z tłumieniem zakłócenia w postaci skoku obciążenia.

Rys. 1. Typowa reakcja UAR na skok wartości zadanej w fazie rozruchu oraz na skok obciążenia w fazie regulacji stabilizacyjnej

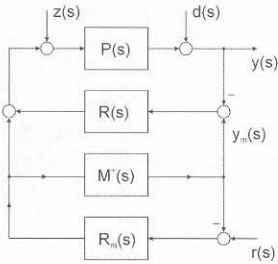
Fig. 1. A typical control system response during the tracking and the stabilizing phases

Dla struktury FMFC (ang. *Fast Model Following Control*) jak na rys. 2, zakładając, że model nominalny  $M(s)$  procesu  $P(s)$  jest znany a perturbacje multiplikatywne  $\Delta(s)$  są ograniczone, jest

$$P(s) = M(s)[1 + \Delta(s)] \quad (1)$$

Przyjmuje się model  $M^+(s)$  znacznie szybszy od znanego modelu nominalnego  $M(s)$ , wprowadzając tym samym znane perturbacje  $\Delta^+(s)$

$$M(s) = M^+(s)(1 + \Delta^+(s)) \quad (2)$$



Rys. 2. Struktura MFC z szybkim modelem  $M^+(s)$  procesu  $P(s)$ , gdzie  $d(s)$  reprezentuje zastępcze zakłócenia losowe sprowadzone do wyjścia procesu a  $z(s)$  jest skokiem obciążenia  
Fig. 2. Model Following Control structure

Przez to, proces  $P(s)$  będą różnic od zastosowanego w układzie modelu  $M^+(s)$ , perturbacje zastępcze  $\delta(s)$  złożone ze znanych  $\Delta^+(s)$  oraz nieznanymi  $\Delta(s)$ . Uwzględniając (1) i (2) jest

$$P(s) = M^+(s)(1 + \delta(s)) \quad (3)$$

$$\delta(s) = \Delta^+(s) + \Delta(s) + \Delta^+(s) \cdot \Delta(s) \quad (4)$$

Wykorzystanie szybkiego modelu  $M^+(s)$  w strukturze MFC pozwala prosto uzyskać forsowanie sterowania procesem co daje nadążanie za szybką zmianą  $y_m^+$ , bowiem na podstawie rys. 2 jest

$$y_n^+(s) = r(s) \frac{R_m(s)M^+(s)}{1 + R_m(s)M^+(s)} \quad (5)$$

$$y_{MFC}(s) = y_m^+(s) \left( 1 + \frac{\delta(s)}{1 + R(s)P(s)} \right) + \frac{d(s) + z(s)P(s)}{1 + R(s)P(s)} \quad (6)$$

Pozwala to jednocześnie obok dobrego nadążania za wartością zadaną na dobre tłumienie zakłóceń i niwelację wpływu perturbacji, tym lepsze im większy jest moduł  $|R(s)|_{s=j\omega}$ , przy czym zapewnia się spełnienie nierówności [45]

$$|R(s)| > |R_m(s)|, s = j\omega, \omega \in [0, \infty) \quad (7)$$

Moduł  $|R(j\omega)|$  jest ograniczony od góry warunkami stabilności a moduł  $|R_m(j\omega)|$  od dołu warunkami satysfakcjonującego nadążania za wartością zadaną. Zarówno w systemie MFC jak również FMFC, poprawa jakości regulacji i odporności odbywa się kosztem sterowania, które w liniowym FMFC może osiągnąć chwilowo bardzo duże wartości i zmieniać znak z dużo większą częstotliwością niż w klasycznym UAR.

W realnym układzie regulacji zwykle występuje ograniczenie sterowania, które może znacznie osłabić efektywność systemu FMFC. Istotę tego ograniczenia ilustruje rys. 3, gdzie pokazano także nieliniową charakterystykę ograniczającą sterowanie, specyficzną dla obiektów elektrotermicznych, które, jeżeli tylko nie mają wymuszonego chłodzenia, są typowymi układami dodatnimi, gdyż wielkość wyjściowa i sterowanie, mogą osiągnąć tylko wartości dodatnie. Przy tym, temperatura w komorze pieca nie może być mniejsza od temperatury otoczenia. Przykładem takich obiektów są piece oporowe, gdzie przyjmuje się umownie, że maksymalne możliwe do uzyskania sterowanie  $u_p$  na wejściu procesu  $P(s)$ , jest równe jedności, czemu odpowiada wartość sterowania  $u=A$  na wejściu ogranicznika. Dla tej wartości sterowania, obiekt na wyjściu osiąga w stanie ustalonym maksymalną wartość temperatury. Sterowanie  $u=0$ , odpowiada w stanie ustalonym wartości temperatury otoczenia.

Zatem jest

$$\left. \begin{array}{l} 0 < u \leq A, \text{ to } u_p = u \\ u > A, \text{ to } u_p = 1 \\ u < 0, \text{ to } u_p = 0 \end{array} \right\} \quad (8)$$

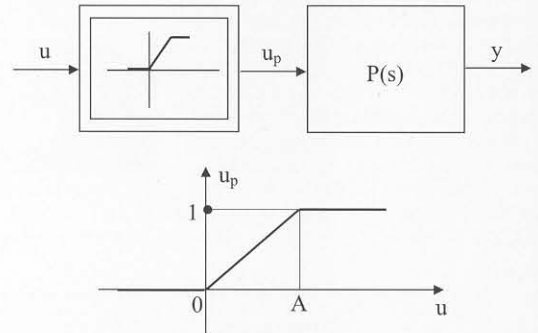
Przy tym, sterowanie na wejściu ogranicznika jest sumą sterowań z pętli z modelem i regulatorem  $R_m(s)$  oraz sterowania z regulatora korekcyjnego  $R(s)$

$$u = u_m + u_R \quad (9)$$

Biorąc pod uwagę zależności (8) i (9), widać, że w wyniku ograniczenia sterowania, pełne efektywne wykorzystanie własności struktur FMFC i MFC będzie możliwe, gdy będzie spełniona nierówność

$$u_m + u_R \leq A \quad (10)$$

oraz jednocześnie, gdy sterowanie  $u_m$  w przedziale  $[0, A]$  „zostawi miejsce” dla sterowania korekcyjnego  $u_R$ .



Rys. 3. Ilustracja ograniczenia sterowania obiektu elektrotermicznego, bez wymuszonego chłodzenia

Fig. 3. Model of an electrothermal process with actuator constraints

Zakładając  $z(s)=0$ , można oszacować moduł dopuszczalnej wartości zadanej  $|r(j\omega)|$  z tego punktu widzenia. Można napisać uwzględniając (10)

$$\left| r(j\omega) \frac{R_m(j\omega)}{1 + R_m(j\omega)M(j\omega)} \left[ (P(j\omega) - M(j\omega))R(j\omega) + 1 \right] + \frac{d(j\omega)R(j\omega)}{1 + R(j\omega)P(j\omega)} \right| \leq A \quad (11)$$

zatem słuszna jest również nierówność

$$A \geq \left| r(j\omega) \right| \frac{R_m(j\omega)}{1 + R_m(j\omega)M(j\omega)} \left| (P(j\omega) - M(j\omega))R(j\omega) + 1 \right| + \left| d(j\omega) \right| \frac{R(j\omega)}{1 + R(j\omega)M(j\omega)} \quad (12)$$

skąd jest

$$\left| r(j\omega) \right| \leq \frac{A - \left| d(j\omega) \right| \frac{R(j\omega)}{1 + R(j\omega)M(j\omega)}}{\frac{R_m(j\omega)}{1 + R_m(j\omega)M(j\omega)} \left| (P(j\omega) - M(j\omega))R(j\omega) + 1 \right|} \quad (13)$$

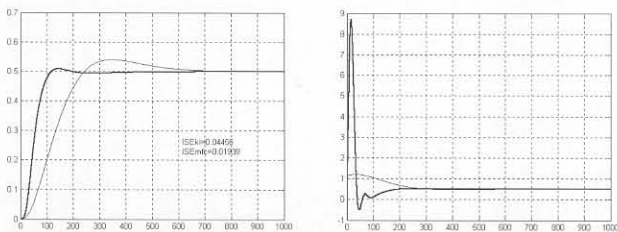
Przykładowo, dla  $A=1$ ,  $|R_m(j\omega)| \cdot |1 + R_m(j\omega)M(j\omega)|^{-1} = 1$ ,  $P(j\omega)M(j\omega)$ ,  $|d(j\omega)|=0,15$ ,  $R=5$ ,  $|r(j\omega)| \leq 0,25$ . Występujące w systemie FMFC perturbacje mogą zmniejszyć lub zwiększyć wartość dopuszczalnego modułu wartości zadanej. Próby praktyczne działania systemu MFC [45, 49, 51] pokazują, że spełniając te warunki, w realnym systemie MFC, pomimo istnienia ograniczeń, można uzyskać znaczną poprawę jakości regulacji w porównaniu z klasycznym UAR z ograniczeniami. Natomiast w systemie FMFC wpływ ograniczenia sterowania manifestuje się znacznie silniej i może on całkowicie zniweczyć zalety tej struktury w porównaniu z klasycznym UAR.

Dla ilustracji powyższych rozważań przedstawiono niżej tylko wybrane wyniki symulacji w środowisku MATLAB dla procesu  $P(s) = [(1+s10)(1+s50)(1+s250)]^{-1} \cdot e^{-s}$ . Przyspieszony model miał postać  $M^+(s) = (1+s10)^{-3}$ .

W wyniku symulacji wykonano przebiegi wyjścia i sterowania umożliwiające porównanie klasycznego UAR z systemem FMFC. Dla czasu obserwacji 1000 liczone było kryterium kwadratowe błędów regulacji. Zbadano wpływ zakłóceń losowych i ograniczenia sterowania.

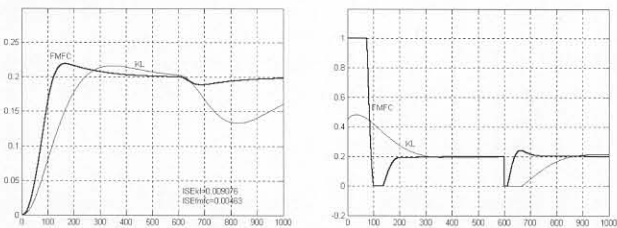
Nastawy regulatorów PID dla procesu  $P(s)$  zostały dobrane [48].  $R_m$  w klasycznym UAR:  $k_{cm}=1,8$ ,  $T_{im}=180$ ,  $T_{dm}=10$ .  $R_m$  i  $R$  w FMFC odpowiednio:  $k_{cm}=1,8$ ,  $T_{im}=100$ ,  $T_{dm}=6$ ,  $k_c=5$ ,  $T_i=90$ ,  $T_d=60$ .

Regulator w klasycznym UAR został dobrany tak, aby uzyskać możliwie minimalny czas regulacji dopuszczając niewielkie przeregulowanie. Rys. 4 dotyczy regulacji procesu  $P(s)$  bez ograniczenia sterowania. Na rys. 5 pokazano wpływ ograniczenia 1/0 sterowania oraz zakłócenia w postaci skoku obciążenia  $z=-0,25$ .



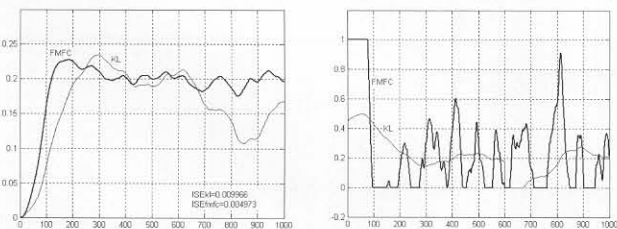
Rys. 4. Odpowiedzi na skok wartości zadanej  $r=0,5$  oraz sterowania bez ograniczenia i bez zakłóceń, dla procesu  $P(s)$ .  $ISE_{kl}=0,04456$ ,  $ISE_{fmfc}=0,01939$

Fig. 4. Comparison of the process and manipulated variable step responses delivered by the FMFC system with those by the classic single-feedback system supposing no constraints are being imposed on the manipulated variable



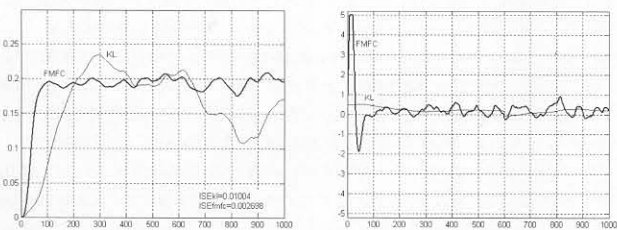
Rys. 5. Odpowiedzi na skok wartości zadanej  $r=0,2$  oraz skok obciążenia  $z=-0,25$  dla procesu  $P(s)$  z ograniczeniem sterowania 0/1,  $ISE_{kl}=0,009076$ ,  $ISE_{fmfc}=0,004632$

Fig. 5. Comparison of the process and manipulated variable step responses delivered by the FMFC system with those by the classic single-feedback system supposing 0/1 constraint is being imposed on the manipulated variable



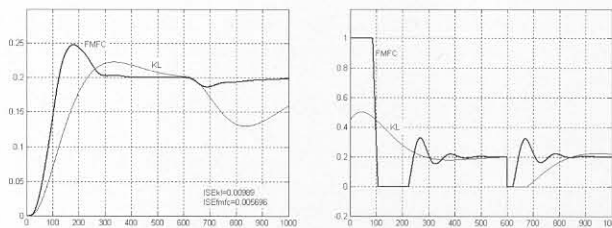
Rys. 6. Sytuacja jak na rys. 5 lecz z zakłóceniem losowym  $|d|=0,5$ ,  $ISE_{kl}=0,009966$ ,  $ISE_{fmfc}=0,004973$

Fig. 6. As in fig. 5, but with a random disturbance  $|d|=0,5$ ,  $ISE_{kl}=0,009966$ ,  $ISE_{fmfc}=0,004973$



Rys. 7. Dane symulacji jak na rys. 5, ale z dużo mniejszym ograniczeniem sterowania 5/-5.  $ISE_{kl}=0,01004$ ,  $ISE_{fmfc}=0,002698$

Fig. 7. As in fig. 5, but with a much weaker constrained manipulated variable 5/-5.  $ISE_{kl}=0,01004$ ,  $ISE_{fmfc}=0,002698$



Rys. 8. Dane symulacji jak na rys. 5, ale z perturbacją opóźnienia  $L=10$ ,  $P=[91+s+10](1+s50)(1+s250)]^{-3} \cdot e^{-s10}$ , z ograniczeniem sterowania 1/0,  $ISE_{kl}=0,00989$ ,  $ISE_{fmfc}=0,005696$ .

Fig. 8. As in fig. 5, but with perturbed time delay  $L=10$ ,  $P=[91+s+10](1+s50)(1+s250)]^{-3} \cdot e^{-s10}$  and constrained manipulated variable 1/0,  $ISE_{kl}=0,00989$ ,  $ISE_{fmfc}=0,005696$

Wyniki symulacji potwierdzają powyższe rozważania. Ukazują one, że w przeciwieństwie do klasycznego UAR, w systemie FMFC można uzyskać bardzo prosto jednocześnie dobre nadążanie za wartością zadaną oraz dobre tłumienie zakłóceń. Odbywa się to kosztem sterowania i w przypadku jego ograniczenia, ogranicza zakres wartości zadanych (13). Proces regulacji temperatury podlega działaniu zakłóceń a parametry modelu pieca mogą ulegać dużym zmianom, w zależności od wielkości i rodzaju wsadu, od zmian wartości zadanej itp. Ten przykład jest typowy dla regulacji obiektów przemysłowych w ogólności.

W strukturze FMFC można zaobserwować większą niż w MFC wrażliwość na perturbacje procesu, co potwierdza zależność (4). Prezentowana koncepcja sterowania w przypadku regulacji temperatury w piecach oporowych, ze względów praktycznych nie może być w pełni wykorzystana, gdyż wymagała by zmiany konstrukcji pieca (potrzebna dodatkowa moc grzewcza i ew. system chłodzenia), oraz wymagała by ograniczenia się do niewielkich wartości zadanych (13).

System FMFC może być praktycznie wykorzystany także w sterowaniu innymi procesami, przy różnych rodzajach ograniczenia sterowania. Przykładowo, sterowanie temperaturą stref wyłaczarek tworzyw sztucznych, wykorzystuje obok grzania także chłodzenie (ograniczenie sterowania typu 1/-1). Jak widać na przykładzie symulacji z rys. 4, teoretycznie, bez ograniczeń sterowania, można bardzo prosto uzyskać w strukturze FMFC z regulatorami PID sterowanie skracając czas regulacji z  $t_{r,kl} \approx 700$  do  $t_{r,FMFC} \approx 175$  i uzyskując przebieg wyjścia bez przeregulowania.

## Literatura

- [1] Z. Tarnowski: Historia Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Metrologii Elektrycznej. Lumel, Zielona Góra 1997.
- [2] Z. Tarnowski: Historia Lumelu. Zielona Góra 1998.
- [3] S. Skoczowski, B. Broel-Plater, S. Domek, T. Skurjat: Mikroprocesorowe układy kompleksowego sterowania procesem pokrywania przewodów izolacją MUKS 3T i 3S. Szczecin 1988. Opracowanie dla F-ki Kabli Załom.
- [4] S. Bańka, S. Skoczowski: O pewnej odmianie regulatora dwustawnego z korekcją dynamiczną. PAK 1970, nr 8/9
- [5] S. Skoczowski, L. Tarasiejski: Jakość regulacji w układach impulsowych z modulacją częstotliwości. Arch. Automat. i Telemek., 1971, nr 3.
- [6] S. Bańka, S. Skoczowski: Metoda określania dynamiki regulatorów dwustawnych z korekcją dynamiczną. PAK 1973, nr 3.
- [7] S. Skoczowski, S. Bańka: Dobór strefy histerezy regulatorów dwustawnych z uwagi na amplitudę oscylacji wielkości regulowanej. PAK 1973, nr 4.
- [8] S. Skoczowski: Sterowanie obiektu z opóźnieniem poprzez model bez opóźnienia. PAK 1973, nr 6.
- [9] S. Skoczowski: Zur Auswertung der Überschwingeite und der Schwanungsbreite in Zweipunktregelsystemen. Messen-Steuern-Regeln 1973, nr 11.
- [10] S. Skoczowski: Przeregulowanie i amplituda oscylacji w układach regulacji dwustawnej z uwzględnieniem rzeczywistych charakterystyk obiektu grzejnego. Metoda płaszczyzny fazowej. Mat. Konf. Naukowo-Technicznej z okazji 30-lecia Z-du MERA-LUMEL „Perspektywy rozwojowe metrologii elektrycznej” Zielona Góra X 1973.

- [11] S. Skoczowski, H. Misztal, I. Maciejewski, J. Dobrzyński: Regulator temperatury z modulacją częstotliwości impulsowania /PFM/. Prace VI KKA, Poznań 1974.
- [12] S. Skoczowski: Problemy analizy regulacji dwustawnej. Prace VI KKA, Poznań 1974.
- [13] S. Skoczowski, L. Tarasiejski, E. Statuch-Chmielnik: A New Simple Approach to Temperature Control Processes Simulation. International Colloquium on Field Simulation, London 1974.
- [14] S. Skoczowski, H. Misztal: Układ rozruchowy do sterowania obiektami z opóźnieniem rzeczywistym. PAK 1974, nr 10.
- [15] S. Skoczowski, S. Stępiński: Przybliżona analiza dynamiki regulatorów dwustawnych z korekcją dynamiczną. PAK 1975, nr 2
- [16] S. Skoczowski, T. Stępiński: On Mathematical Models of Thermal Plants. Proc. Fifth Iranian Conference on Electrical Engineering. Shiraz X 1975.
- [17] S. Skoczowski: Zur Analyse der Regelgüte in Temperatur-Zweipunktregelsystemen. Elektrowärme International 1975, nr B6.
- [18] S. Skoczowski, M. Jarmusz: PD/PID - Regler mit variabler Struktur für Regelstrecken mit Ausgleich. Messen-Steuern-Regeln 1976, nr 8.
- [19] S. Skoczowski: Dwustawna regulacja temperatury. WNT, Warszawa 1977.
- [20] S. Skoczowski: Some remarks on the approximation of plants with self-regulation. Regelungstechnik 1983, nr 7.
- [21] S. Skoczowski: Einfache Modelle der Temperaturregelstrecken und ihr Brauchbarkeitsmass, UIE 10th Congress, Stockholm 1984.
- [22] S. Skoczowski: Proste modele obiektów elektrotermicznych dla regulacji temperatury. Rozprawy Elektrotechniczne 1987, vol.33, z. 1.
- [23] S. Skoczowski, S. Bańka, I. Dobrzyński: Sposób różniczkowania sygnałów, zwłaszcza wolnozmiennych i układ do stosowania tego sposobu. Patent Nr 78805, 1976, świadectwo autorskie o dokonaniu wynalazku, nr 744437.
- [24] S. Skoczowski, T. Skurjat, B. Broel-Plater, S. Domek: Regulator mikroprocesorowy samonastrajający. Praca n. b. dla OBRME MERA LUMEL Szczecin, XII 1983.
- [25] S. Skoczowski, T. Skurjat, B. Broel-Plater, S. Domek: Regulator mikroprocesorowy, samonastrajający - rozszerzenie funkcji użytkowych. Praca n.-b. dla OBRME MERA LUMEL, Szczecin XII 1984.
- [26] S. Skoczowski: Częstotliwość Rice'a w układzie regulacji. Ośrodek Wydawnictw Naukowych PAN, Poznań 1993.
- [27] S. Skoczowski: Metoda uproszczonej identyfikacji parametrów modelu Strejca na podstawie pierwszych próbek odpowiedzi skokowej. Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji, 1992, z. 2/3.
- [28] S. Skoczowski, A. Osadowski: A simple identification method of the Strejca model and its application to autotuning. SICICA'94, Budapest, Hungary.
- [29] S. Skoczowski: Estimation of the order and the spread of time constants for multi-time lag processes using step response. Proc. First International Symposium on Mathematical Models in Automation and Robotics, Międzyzdroje, Poland, 1994.
- [30] S. Skoczowski: Identyfikacja praktyczna modeli transmitancyjnych na podstawie początkowej fazy odpowiedzi skokowej. Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji 1995, z. 1.
- [31] S. Skoczowski: Samonastrajanie regulatora PID w oparciu o identyfikację rzędu na podstawie pierwszych próbek odpowiedzi skokowej. IX Sympozjum SPD-9 Symulacja Procesów Dynamicznych, Polana Chochołowska 1996.
- [32] S. Skoczowski: Identyfikacja modeli uproszczonych obiektów elektrotermicznych na podstawie początkowej fazy charakterystyki rozgrzewu. V Sympozjum „Symulacja, Pomiary i Diagnostyka w Elektrotermii”, Hołny Mejer 1996.
- [33] S. Skoczowski: Evaluation of order and the spread of time constants for aperiodic processes using step response. Control Eng. Practice, 1997, vol. 5, no 8.
- [34] S. Skoczowski: Modele procesów periodycznych budowane na podstawie pomiarów początku odpowiedzi skokowej. VIII Sympozjum „Modelowanie i Symulacje Systemów Pomiarowych”, Krynica Górská 1998.
- [35] S. Skoczowski: Regulacja PID temperatury obiektów elektrotermicznych. VII Sympozjum „Pomiary i diagnostyka w elektrotermii i energetyce”, Białystok 1998.
- [36] S. Skoczowski: Order identification and process modelling based on the initial phase of the step response. IASTED Intelligent System Control, Santa Barbara, USA October 1999.
- [37] S. Skoczowski: Identyfikacja i sterowanie przemysłowymi obiektami elektrotermicznymi. XIII Krajowa Konferencja Automatyki, Opole 1999.
- [38] S. Skoczowski: Identification and modelling based on the initial phase of the sampled process step response. IFAC Symposium Control of Power Systems and Power Plants, Brussels, Belgium 2000.
- [39] S. Skoczowski: Odporny układ regulacji z wykorzystaniem modelu. PAK 1999, nr 9.
- [40] S. Skoczowski: The robust control system with use of nominal model of controlled plant. IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes, ADCHEM'2000, Pisa, Italy 2000.
- [41] S. Skoczowski, S. Domek: PID robust model following control. Proc. IFAC Workshop on Digital Control „Past, Present and Future of PID Control”, Terrasa, Spain 2000.
- [42] S. Skoczowski, S. Domek: Robustness of a model following PID control system. 14th Int. Symp. on Mathematical Theory of Networks and Systems, MTNS'2000. Perpignan, France, Proc. CD, CS 25B.
- [43] S. Skoczowski, R. Osypiuk: Robustness and output sensitivity function of a model following control system. Proc. MMAR'2000, Międzyzdroje, Poland.
- [44] S. Skoczowski: Technika regulacji temperatury. Wyd. PAK, Warszawa-Zielona Góra 2000.
- [45] S. Skoczowski: Robust model following control with use of a plant model. Int. Journal of Systems Science, 2001, vol. 32, no 12.
- [46] S. Skoczowski: Deterministyczna identyfikacja i jej wykorzystanie w odpornej regulacji PID temperatury. Wyd. Ucz. Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2001.
- [47] S. Skoczowski: Struktury układów automatycznej regulacji oraz ich właściwości odpornościowe. XIV Krajowa Konferencja Automatyki, Zielona Góra 2002.
- [48] S. Skoczowski: Projektowanie odpornego regulatora PID dla procesów n-tego rzędu z opóźnieniem, Auromecon 2002, Poznań.
- [49] S. Skoczowski, S. Domek, K. Pietrusiewicz, B. Broel-Plater: Robust Model Following PID Control and its Implementation on PLC. IFAC Symposium on Robust Control Design ROCOND 2003, Milano, Italy, CD
- [50] S. Skoczowski: Control System Structures and Their Robustness. PAK 2003, nr 6.
- [51] S. Skoczowski, S. Domek, K. Pietrusiewicz: Model Following PID Control System. Kybernetes 2003, vol. 3, nr 5/6.
- [52] S. Skoczowski: Odporna regulacja MFC temperatury w piecach oporowych z wykorzystaniem przyspieszonego modelu procesu. Postępy w Elektrotermice Stosowanej PE-4, Kościelisko, 2003.

**Title:** On Temperature Control and Model Following Control

Artykuł recenzowany

## INFORMACJE

**TARGI**  
**HANNOVER MESSE'2004**  
**19-24 IV 2004**



Na konferencji prasowej w dniu 9 XII 2003 w Warszawie, Dyrektor Biura Targów, Pan Peter Rippen przedstawił informację na temat programu Targów **HANNOVER MESSE'2004**. Targi HANNOVER MESSE, począwszy od roku 2004 będą charakteryzowały się nowym obliczem; **będą jednocześnie Targami Techniki i Technologii, adresowanymi do wszystkich branż przemysłu**. Przesłaniem Targów jest hasło „**WIEDZIEĆ CO BĘDZIE MOŻLIWYM JUŻ JUTRO**”. Dzięki włączeniu Targów INTERKAMA do programu HANNOVER MESSE, co stanowi logiczne uzupełnienie targów „Factory Automation” (Automatyzacja w Fabrykach), impreza hannerska urosła do rangi **największego światowego rynku automatyki przemysłowej**.

Opracowanie: mgr Dorota Słobozin  
 Redaktor d/s Marketingu PAKU