### ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ Seria: ELEKTRYKA z. 165

Jerzy ROJ Politechnika Śląska Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej

## ZASTOSOWANIE MODELI ODCINKOWO-LINIOWYCH W PROCESIE ODTWARZANIA STĘŻENIA METANU

Streszczenie. W artykule przedstawiono praktyczne aspekty zastosowania modelowania odcinkowo-liniowego w procedurze odtwarzania stężenia metanu w stanie nieustalonym mostka pelistorowego zasilanego napięciem impulsowym. Opisano wyniki analizy propagacji niepewności przez sekwencję algorytmów odtwarzania programowego, zbudowanych na podstawie odwrotnych modeli odcinkowo-liniowych analogowego procesu przetwarzania.

# APPLICATION OF LINE-SEGMENT MODELS IN RECONSTRUCTION PROCEDURE OF METHANE CONCENTRATION

Summary. The paper presents the practical aspects of use of the line-segment modelling in reconstruction procedure of methane concentration in transient state of the pellistor bridge with impulse supply voltage. Results of uncertainty propagation by programming reconstruction algorithms based on the inverse line-segment models of the analog conversion are described.

#### **1. WPROWADZENIE**

Jedną z dynamicznie rozwijających się w ostatnich latach dziedzin techniki pomiarowej stanowią programowane przetworniki pomiarowe, których właściwości metrologiczne są zarówno efektem wprowadzania nowych technologii jak, i zastosowania programowego przetwarzania danych pomiarowych przez mikroprocesor. Spośród nich wyodrębnić można specyficzną grupę tzw. przetworników próbkujących [1, 3], w których przetwarzanie

<u>1999</u> Nr kol. 1412 programowe realizowane jest na bieżąco, w czasie pomiędzy kolejnymi momentami próbkowania wielkości mierzonej.

Obecnie istnieje szereg teoretycznych opracowań tego rodzaju algorytmów, jednak niewiele pojawia się opisów ich praktycznej weryfikacji dotyczących analizy funkcjonalnej algorytmu, tzn. określenia czasochłonności działania, zajętości pamięci, ale przede wszystkim analizy metrologicznej, polegającej na określeniu modeli poszczególnych źródeł błędów, a następnie wyznaczeniu niepewności wyniku końcowego. Ten drugi element praktycznej weryfikacji algorytmu przetwarzania praktycznie nie jest omawiany w literaturze.

Wymienione zagadnienia mogą być rozwiązywane przy zastosowaniu metody odcinkowo-liniowej w odniesieniu do modelowania zarówno statycznych, jak i dynamicznych cząstkowych właściwości przetworników analogowych. Metoda ta umożliwia budowę stosunkowo prostych, a co za tym idzie, odpowiednio szybkich algorytmów korekcji błędów systematycznych na zasadzie odtwarzania, jak również dostarcza procedur analizy metrologicznej algorytmów odtwarzania i syntezy niepewności wyniku końcowego.

Odcinkowo-liniową metodę modelowania wykorzystano praktycznie do budowy algorytmów korekcji błędów systematycznych mostka pelistorowego zastosowanego do pomiaru stężenia metanu w stanie nieustalonym po załączeniu napięcia zasilania.

## 2. SPOSÓB POMIARU STĘŻENIA METANU PRZY ZASILANIU IMPULSOWYM MOSTKA PELISTOROWEGO

Mostek pelistorowy jest przetwornikiem służącym do pomiaru stężeń mieszanek palnych, w którym w celu uzyskania sygnału pomiarowego wykorzystuje się zjawisko spalania katalitycznego. Budowę mostka przedstawiono na rysunku 1a. Dwa ramiona mostka stanowią rezystory  $R_1$  i  $R_2$ , a dwa pozostałe pelistory:  $P_A$  jest pelistorem aktywnym,  $P_P$  - pasywnym. Pelistory zbudowane są z platynowej spiralki zatopionej w ogniotrwałej perełce z tlenku aluminium, przy czym perełka pelistora aktywnego nasączona jest katalizatorem.





- Rys. 1. a) Budowa mostka pelistorowego, b) przykładowe przebiegi napięcia wyjściowego po załączenie napięcia zasilania
- Fig. 1. a) Construction of the pellistor bridge, b) exemplary output signals after switching on the supply voltage

Załączenie napięcia zasilania mostka powoduje nagrzewanie się pelistorów i w temperaturze około 350°C rozpoczyna się spalanie katalityczne metanu na powierzchni pelistora aktywnego. Ciepło wydzielone w wyniku spalania powoduje wzrost temperatury pelistora, co z kolei prowadzi do zmiany jego rezystancji. Zmiana rezystancji spowodowana spaleniem katalitycznym jest przetwarzana w mostku na zmianę napięcia na przekątnej pomiarowej. Standardowo napięcie wyjściowe mostka mierzone jest w stanie ustalonym, co ma szereg wad. W związku z tym pojawiła się koncepcja uzyskiwania wyniku pomiaru jeszcze w stanie termicznej nierównowagi mostka po rozpoczęciu spalania katalitycznego.

Mostek pelistorowy stanowi czujnik metanomierza próbkującego, w skład którego ponadto wchodzą układy analogowe, przetwornik A/C i mikrokontroler [8]. Metanomierz próbkujący realizuje pomiar wartości chwilowych stężenia metanu w sposób przedstawiony ogólnie na rysunku 2a. Czas trwania impulsu napięciowego determinują dwa czynniki:

- czas  $T_1$  potrzebny na dostarczenie energii niezbędnej do podgrzania pelistora aktywnego do temperatury zapłonu mieszanki,
- czas realizacji pomiarów i obliczeń numerycznych oznaczony symbolem T<sub>2</sub>.



- Rys. 2. a) Ilustracja sposobu pomiaru stężenia metanu przy zasilaniu mostka napięciem impulsowym, b) przebieg napięcia zasilania  $U_Z$  w celu skrócenia całkowitego czasu pomiaru;  $U_P$  - napięcie początkowe,  $U_N$  - napięcie nominalne,  $T_1$  - faza podgrzewania pelistora aktywnego do temperatury zapłonu,  $T_2$  - faza pomiaru i obliczeń
- Fig. 2. a) Illustration of the method of methane concentration measurement by means of the pellistor bridge with impulse supply voltage, b) supply voltage waveform  $U_Z$  which shortens the total measurement time;  $U_N$  initial voltage,  $U_N$  rated voltage,  $T_1$  phase of heating the active pellistor to ignition temperature,  $T_2$  measurement and calculation phase

W celu skrócenia czasu od załączenia napięcia zasilania do chwili rozpoczęcia spalania katalitycznego przyjęto sposób zasilania mostka w dwóch fazach, przedstawiony na rysunku 2b. W fazie  $T_1$  załączone zostaje napięcie  $U_P$  o wartości wyższej od nominalnej w celu dostarczenia energii niezbędnej do podgrzania pelistora aktywnego do temperatury zapłonu. W fazie drugiej, oznaczonej jako  $T_2$ , napięcie zasilania ma wartość nominalną  $U_N$  i wówczas realizowane są pomiary oraz niezbędne obliczenia numeryczne.

## 3. PROCEDURA WYZNACZANIA STĘŻENIA METANU W STANIE NIEUSTALONYM MOSTKA PELISTOROWEGO ZASILANEGO NAPIĘCIEM IMPULSOWYM

Podstawą budowy algorytmów odtwarzania stężenia metanu na wejściu mostka pelistorowego jest model fizyczny procesu przetwarzania zachodzącego w mostku. Model ten w postaci złożonego ciągu wzajemnie sprzężonych, nieliniowych równań statycznych i dynamicznych opisano m.in. w pracach [5,7,8]. W wyniku odwrócenia modelu oraz przeprowadzenia dekompozycji polegającej na rozdzieleniu statycznych i dynamicznych właściwości przetworników cząstkowych uzyskano strukturę algorytmu odtwarzania przedstawioną graficznie na rysunku 3.



Rys. 3. Struktura algorytmu odtwarzania mierzonego stężenia metanu w stanie nieustalonym mostka pelistorowego

Fig. 3. Structure of the reconstruction algorithm of measured methane concentration in transient state of the pellistor bridge

Algorytm składa się z 10 równań oznaczonych symbolami od A1 do A10. Danymi wejściowymi algorytmu są dwa ciągi liczb  $N_{U}(k)$  i  $N_{I}(k)$ , będące odpowiednio wynikami przetwarzania A/C wartości chwilowych napięcia wyjściowego mostka i prądu płynącego przez pelistory. Próbkowanie odbywa się w chwilach  $t_k$ , k jest numerem chwili,  $k = 0, 1, ..., t_k = kT_d$ . Napięcie na pelistorze aktywnym wyznacza się z równania:

$$\hat{U}_A(k) = a_U N_U(k) + b_U, \qquad (A1)$$

natomiast prąd pelistorów oblicza się za pomocą zależności:

$$\hat{I}_{P}(k) = a_{I}N_{I}(k) + b_{I}$$
. (A2)

Współczynniki  $a_U, a_I, b_U, b_I$  w powyższych równaniach mają stałe wartości. Wartości chwilowe napięcia i prądu są następnie mnożone w celu otrzymania oceny  $\hat{q}_{AI}(k)$  mocy wydzielanej na pelistorze aktywnym na skutek przepływu prądu, zgodnie z zależnością:

$$\hat{q}_{AI}(k) = \hat{U}_A(k)\hat{I}_P(k), \tag{A3}$$

a ponadto dzielone przez siebie, aby uzyskać wartości rezystancji pelistora aktywnego

$$\hat{R}_{A}(k) = \frac{\hat{U}_{A}(k)}{\hat{I}_{P}(k)}.$$
(A4)

Wartości te są podstawą odtwarzania ciepła całkowitego wydzielanego na pelistorze aktywnym (tzn. powstającego na skutek przepływu prądu i spalania katalitycznego). Proces nagrzewania opisywany jest nieliniowym równaniem różniczkowym I rzędu, które po dekompozycji i odwróceniu daje dwa cząstkowe algorytmy. Algorytm odtwarzania dynamicznego opisuje wyrażenie:

$$\hat{R}(k) = \hat{R}_{A}(k) + A_{k+1,R} \Big[ \hat{R}_{A}(k+1) - \hat{R}_{A}(k) \Big],$$
(A5)

w którym współczynnik  $A_{k+1,R}$  jest funkcją  $\hat{R}_A(k)$ . Zależność ta jest stablicowana w pamięci mikroprocesora w postaci odcinkowo-liniowej. Równanie statyczne opisuje zależność:

$$\hat{q}_{A}(k) = c_{A} \left[ \hat{R}(k) - R_{A0} \right],$$
 (A6)

również nieliniowa, gdzie współczynnik  $c_A$  jest zależny od rezystancji  $\hat{R}_A(k)$ i jest również stablicowany. Składnik  $R_{A0}$  ma wartość stałą. Moc wydzielaną na pelistorze aktywnym na skutek spalania katalitycznego oblicza się przez odjęcie od mocy całkowitej mocy wydzielanej na skutek przepływu prądu przez ten pelistor

$$\hat{q}_{s}(k) = \hat{q}_{A}(k) - \hat{q}_{A}(k)$$
 (A7)

Proces cieplny spalania katalitycznego również jest opisany równaniem różniczkowym I rzędu, przy czym uzyskane wyniki wskazują, że jest praktycznie liniowy. Proces ten modelują również dwa równania. Równanie dynamiczne ma postać:

$$\hat{q}(k) = \hat{q}_{s}(k) + A_{k+1,s} [\hat{q}_{s}(k+1) - \hat{q}_{s}(k)], \qquad (A8)$$

gdzie współczynnik  $A_{k+1,S}$  ma stałą wartość. Cztery kolejne wyniki wyznaczane zgodnie z równaniem (A8) poddawane są filtracji:

$$\hat{q}_F = \frac{1}{4} \sum_{i=k-3}^{i=k} \hat{q}(i), \tag{A9}$$

natomiast równanie statyczne odtwarza wartość chwilową stężenia zgodnie z zależnością:

$$\hat{S} = c_S \hat{q}_F + c_0, \qquad (A10)$$

gdzie współczynniki  $c_s$  i  $c_0$  mają stałe wartości.

Czas realizacji algorytmu przez mikrokontroler Intel 8032 pomiędzy kolejnymi chwilami próbkowania wynosi około 4 ms, natomiast czas od momentu rozpoczęcia próbkowania wielkości wyjściowych mostka do chwili uzyskania wyniku pomiaru stężenia wynosi około 0.16s. Całkowity obszar pamięci potrzebny na przechowanie współczynników modelu procesu przetwarzania w mostku pelistorowym nie przekracza 0.5 kB.

## 4. ODWROTNE ODCINKOWO-LINIOWE MODELE PRZETWORNIKÓW ANALOGOWYCH

Modelem właściwości statycznych jest zbiór I odcinków linii prostej, które aproksymują fragmenty odwrotnej charakterystyki statycznej przetwornika w sposób zilustrowany na rysunku 4, przy czym *i*-ty odcinek ma swój początek w węźle o współrzędnych  $y_{0i}, x_{0i}, i = 1, 2, ..., I$  i reprezentuje odwrotną funkcję przetwarzania między węzłami *i* oraz *i*+1.



Rys. 4. Odwrotny model właściwości statycznych przetwornika Fig. 4. Inverse model of transducer static properties

Z każdym z odcinków związana jest liczba  $\Delta_i$ , określająca połowę szerokości obszaru symetrycznego wokół odcinka aproksymującego, w którym z odpowiednio dużym (granicznym) prawdopodobieństwem mieści się rzeczywisty fragment odwrotnej charakterystyki statycznej. Zatem  $\Delta_i$ , wyraża niepewność własną algorytmu odtwarzania statycznego dla punktu pracy mieszczącego się na *i*-tym odcinku charakterystyki.

Wyznaczenie oceny  $\hat{x}$  przy użyciu modelu odcinkowo-liniowego opisuje zależność:

$$\hat{x} = x_{0i} + S_i (\tilde{y} - y_{0i}), \qquad (1)$$

gdzie  $x_{0i}$ ,  $y_{0i}$  są współrzędnymi węzła o numerze *i*,  $S_i$  jest nachyleniem odcinka aproksymującego,  $\tilde{y}$  - wynikiem pomiaru wielkości *y*. Zatem dla każdego odcinka konieczna jest znajomość dwóch liczb:  $x_{0i}$  i  $S_i$ , które muszą być przechowywane w pamięci mikroprocesora realizującego odtwarzanie.

Zakłada się, że podstawowym modelem *właściwości dynamicznych* przetwornika jest zwyczajne równanie różniczkowe, w ogólnym przypadku nieliniowe. Równanie to jest dekomponowane, w wyniku czego uzyskuje się oddzielne modele właściwości statycznych i dynamicznych [3]. Przy takim podejściu równanie dynamiczne jest idealne statycznie, tzn. dla odpowiednio wolnozmiennych (statycznych) wymuszeń przyjmuje ono postać idealnego równania przetwarzania o czułości równej 1. Równanie dynamiczne zapisywane jest w postaci dyskretnego równania stanu, którego rozwiązanie ze względu na wielkość wejściową stanowi algorytm odtwarzania. Algorytm ten ma postać rekurencyjną, dzięki czemu jest prosty numerycznie i może być szybko wykonywany przez mikroprocesor [2, 4]. Jednak w celu analizy metrologicznej algorytm odtwarzania dynamicznego przedstawiany jest w postaci szeregu czasowego

$$\hat{\mathbf{x}}(k) = A_{k+1}\tilde{\mathbf{y}}(k+1) + A_k\tilde{\mathbf{y}}(k) + A_{k-1}\tilde{\mathbf{y}}(k-1) + \dots + A_{k-m}\tilde{\mathbf{y}}(k-m) + \dots,$$
(2)

gdzie k jest numerem bieżącej chwili realizacji algorytmu, określającym zarazem momenty próbkowania  $t_k = kT_d$ ,  $T_d$  jest okresem próbkowania, k = 0, 1, ... Współczynniki szeregu  $A_{k+1}, A_k, ..., A_{k-m}$  mają stałe wartości dla przetworników liniowych i stałego okresu próbkowania. Tworzą one postęp geometryczny zbieżny, co pozwala w praktyce na ograniczenie liczby wyrazów szeregu [4]. Dla akceptowalnych nieliniowości dynamicznych współczynniki równania (2) dają się linearyzować [6] i mogą być wówczas wyrażane w postaci odcinkowo-liniowej. Właściwości czujnika pelistorowego opisywane są równaniem dynamicznym I rzędu. W takim przypadku algorytm odtwarzania dynamicznego ma postać dwuwyrazowego szeregu czasowego:

$$\hat{x}(k) = \tilde{y}(k) + A_{k+1} \Delta \tilde{y}(k), \qquad (3)$$

gdzie  $\Delta \tilde{y}(k) = \tilde{y}(k+1) - \tilde{y}(k)$  jest różnicą wartości dwóch kolejnych próbek. Dla nieliniowych modeli dynamicznych I rzędu współczynnik  $A_{k+1}$  nie jest stały; zależy najczęściej od wartości  $\tilde{y}(k)$ . Na ogół w takich przypadkach możliwa jest aproksymacja odcinkowoliniowa zależności współczynnika  $A_{k+1}$  w funkcji wartości  $\tilde{y}(k)$  w sposób przedstawiony dla nieliniowych charakterystyk statycznych.

## 5. SYNTEZA NIEPEWNOŚCI OCENY MIERZONEGO STĘŻENIA METANU

Struktura modelu niepewności algorytmu stanowi z reguły bezpośrednie odzwierciedlenie struktury samego algorytmu. Natomiast ogólna koncepcja budowy tego rodzaju modelu zakłada, że poszczególne algorytmy są reprezentowane przez współczynniki określające relację między niepewnością na wyjściu i wejściu algorytmu oraz przez niepewności własne algorytmów. Każdy z algorytmów w ogólnym przypadku reprezentowany jest przez 3 współczynniki:  $k_p$ ,  $k_s$  i  $k_d$ , określające stosunek niepewności na wyjściu i wejściu algorytmu odpowiednio dla niepewności przypadkowej, statycznej i dynamicznej. Każdy z algorytmów przenosi, zgodnie z wartością odpowiedniego współczynnika, niepewność z wejścia na wyjście i wprowadza niepewności własne oznaczone odpowiednio jako  $\Delta_p$ ,  $\Delta_s$ , i  $\Delta_d$ . Ze względu na pomijalnie małe wartości niepewności dynamicznych nie uwzględniono ich w procedurze wyznaczania niepewności wyniku końcowego. W celu syntezy niepewności oceny mierzonego stężenia metanu zbudowano trzy modele pozwalające na wyznaczenie wypadkowych niepewności na wyjściu algorytmu odtwarzania związanych z:

- niepewnościami statycznymi toru przetwarzania A/C (model niepewności dla błędów statycznych algorytmu bez uwzględnienia niepewności własnych algorytmów czastkowych).
- statycznymi niepewnościami własnymi algorytmu,
- niepewnościami losowymi.

Modele te przedstawiono na rysunku 5, przy czym wartości liczbowe dotyczą mostka pelistorowego oznaczonego numerem 3. Niepewności są przenoszone z wejścia na wyjście kolejnych algorytmów cząstkowych ze współczynnikiem podanym wewnątrz każdego z prostokątów symbolizujących te algorytmy. Między prostokątami wpisano wartości niepewności danych w konkretnych punktach realizacji algorytmu. W tablicy 1 zestawiono wyznaczone analitycznie wartości niepewności cząstkowych wyniku wyjściowego algorytmu oraz rezultat ich geometrycznego złożenia dla czterech egzemplarzy mostków pelistorowych.

Tabela 1

Rodzaj niepewności	Mostek nr 1	Mostek nr 2	Mostek nr 3	Mostek nr 4
Statyczna związana z niepewnościami statycznymi toru przetwarzania A/C	0.057	0.041	0.043	0.064
Statyczna związana z niepewnościami własnymi algorytmu odtwarzania	0.17	0.15	0.17	0.21
Losowa	0.21	0.32	0.15	0.14
Wyniku odtwarzania $\Delta_s$	0.28	0.36	0.23	0.26

Wartości niepewności cząstkowych oraz niepewność końcowego wyniku odtwarzania stężenia metanu dla czterech mostków pelistorowych

W celu doświadczalnej weryfikacji uzyskanych rezultatów dla każdego z analizowanych mostków przeprowadzono serię 20 pomiarów dla 3 stężeń metanu o wartościach 3.7%, 2.8% i 2.2%. Wyniki tych pomiarów oraz ich błędy jako odchylenie od średniej z 20 pomiarów przedstawiono na rysunku 6. Kolorem szarym oznaczono niepewność oceny mierzonego stężenia metanu uzyskaną analitycznie. Uzyskana niepewność wyniku końcowego rzędu 0.2% nie przekracza zaleceń normatywnych. Można zatem stwierdzić, że pod względem dokładności opisana metoda daje rezultaty porównywalne z tradycyjnymi sposobami pomiaru stężenia metanu, natomiast znacznie je przewyższa, jeżeli weźmie się pod uwagę czas uzyskiwania wyniku pomiaru.





c)

a)

b)



- Rys. 5. Modele niepewności algorytmu odtwarzania stężenia metanu dla: a) błędów statycznych bez uwzględnienia niepewności własnych algorytmów cząstkowych, pozwalający na wyznaczenie składowej niepewności końcowej związanej z niepewnościami statycznymi toru przetwarzania A/C, b) statycznych błędów własnych, c) błędów losowych
- Fig. 5. Uncertainty models of methane concentration reconstruction algorithm for a) static errors without own uncertainties of partial algorithms (it enables to calculate the component of final result uncertainty connected with AD chain static uncertainties), b) their own static errors, c) random errors



Rys. 6. Wyniki pomiarów oraz błędy kolejnych wyników jako odchylenie od średniej dla mostka a) nr 1, b) nr 2, c) nr 3, d) nr 4

Fig. 6. Measurement results and their errors as the deviation from the average for four bridges a) no 1, b) no 2, c) no 3, d) no 4 Zastosowanie modeli odcinkowo-liniowych w procesie odtwarzania stężenia metanu 49

#### 6. PODSUMOWANIE

Opisane w artykule wyniki badań przeprowadzonych dla czterech egzemplarzy mostków pelistorowych wydają się potwierdzać praktyczną przydatność odcinkowo-liniowej metody modelowania zarówno statycznych, jak i dynamicznych właściwości przetworników do budowy szybkich algorytmów bieżącej korekcji błędów systematycznych na zasadzie odtwarzania. Błędy wyników uzyskiwanych w wyniku odtwarzania są porównywalne z błędami standardowych sposobów pomiaru stężenia metanu. Stosując opisaną w pracy odcinkowo-liniową metodę modelowania statycznych i dynamicznych właściwości nieliniowych przetworników pomiarowych można uzyskiwać częstotliwość repetycji dla przetworników próbkujących rzędu pojedynczych kHz, przy wykorzystaniu do realizacji odtwarzania standardowych wersji współczesnych 8-bitowych mikrokontrolerów. Powyższa analiza prowadzi do wniosku, że jest technicznie możliwe zbudowanie metanomierza próbkującego z częstotliwością do około 3 Hz.

Odcinkowo-liniowa metoda modelowania właściwości przetworników może być efektywnie stosowana w złożonych warunkach przetwarzania, tzn. w sytuacji, gdy proces przetwarzania analogowego jest wieloetapowy i opisywany nieliniowymi równaniami statycznymi i dynamicznymi. Efektywność metody związana jest przede wszystkim z prostotą numeryczną algorytmów dających się realizować na bieżąco przez proste wersje mikrokontrolerów. Nie mniej ważną właściwością metody jest również dostarczenie procedur analizy metrologicznej algorytmów i syntezy niepewności wyniku końcowego. Procedury te są integralną częścią składową metody, bowiem wywodzą się z zastosowanych sposobów modelowania odcinkowo-liniowego zarówno właściwości statycznych, jak i dynamicznych przetworników.

#### LITERATURA

- 1. Bolikowski J. i inni Podstawy projektowania inteligentnych przetworników pomiarowych wielkości elektrycznych. Seria Monografie, nr 68, Zielona Góra 1993
- Jakubiec J. Bieżące programowe odtwarzanie wartości chwilowych dynamicznych przebiegów wejściowych nieliniowych przetworników pomiarowych. Monografia. ZN Pol. Śl. s. Elektryka z.111 Gliwice 1988
- 3. Jakubiec J. Geometryczna metoda opisu przetwarzania w programowanym czujniku pomiarowym. Metrologia i Systemy Pomiarowe, Tom III, Zeszyt 3-4 1996, str. 225-249

- Jakubiec J. Metrologiczne własności pewnej postaci szeregu czasowego jako sposobu przedstawiania rekurencyjnych algorytmów przetwarzania danych pomiarowych. Archiwum Elektrotechniki, Tom XL, zeszyt 3/4/1991, str. 723-735
- Jakubiec J., Roj J. Procedura odtwarzania w zastosowaniu do pomiaru stężenia metanu za pomocą mostka pelistorowego. Materiały Międzynarodowej Konferencji Automatyzacji Górnictwa ICAMC'95, Gliwice 1995, str. 463-468
- Meditch J. S. Estymacja i sterowanie statystycznie optymalne w układach liniowych. WNT, Warszawa 1975
- Roj J. Metoda pomiaru stężenia mieszanek palnych za pomocą mostka pelistorowego zasilanego impulsowo. Materiały Konferencji MKM'95, Zielona Góra, 1995, str. 326-334
- 8. Roj J. Pomiar stężenia mieszanki palnej za pomocą mostka pelistorowego zasilanego impulsowo. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1998

Wpłynęło do redakcji dnia 1 grudnia 1998 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Adam Żuchowski

#### Abstract

A pellistor bridge using the catalytic combustion effect is the basic system for measurement of combustible mixture concentration. Pellistors applied nowadays enable to get a measurement result in steady state of the bridge after several to a dozen or so seconds since the moment of switching on the bridge supply.

The paper presents the practical aspects of use of the line-segment modelling in reconstruction procedure of methane concentration in transient state of the pellistor bridge with impulse supply voltage. It enables to get a measurement result after about 0.3 second. This method is based on a bridge model in form of nonlinear static and dynamic equations conjugated mutually and reconstruction procedure consisting in numerical solution of these equations. Static and dynamic equations modelling successive phases of the measured quantity conversion have been transformed into line-segment form. It has enabled to get a simple numerical form of the reconstruction algorithms which can be realised in real-time by standard microcontrollers.

The paper presents the uncertainty models of reconstruction algorithm for static and random errors. Comparison of the uncertainties calculated analytically with those obtained from experiments has been made, as well.