

Jerzy JAKUBIEC
Zbigniew POKRYWKA

MODEL MOSTKA PELISTOROWEGO W STANIE NIEUSTALONYM PO WŁĄCZENIU NAPIĘCIA ZASILANIA

Streszczenie. W artykule opisano model mostka pelistorowego zbudowany dla celów analizy stanu nieustalonego po włączeniu napięcia zasilania. Model ten pozwala na wyodrębnienie z odpowiedzi mostka sygnału związanego z mierzonym stężeniem gazu palnego.

A MODEL OF PELLISTOR BRIDGE IN TRANSIENT STATE AFTER SWITCHING ON SUPPLY VOLTAGE

Summary. The paper contains an analysis of bridge circuit with the catalytic pellistor in transient state after switching on supply voltage. The model of pellistor bridge enables to separate measuring combustible mixtures concentration signal from the output signal of bridge.

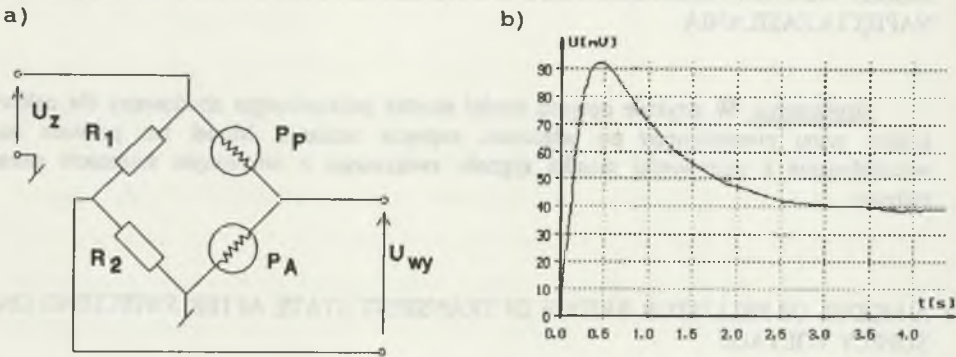
МОДЕЛЬ ПЕЛИСТОРНОГО МОСТА В ПЕРЕХОДНОМ ПРОЦЕССЕ ПОСЛЕ ВКЛЮЧЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ

Резюме. В статье описана модель пелисторного моста построена для анализа переходного процесса после включения напряжения питания. Модель позволяет выделить из ответа моста сигнал связанный с измеряемой концентрацией метана.

1. WSTĘP

Do budowy czujników służących do pomiaru stężenia mieszanek palnych najczęściej wykorzystywane jest zjawisko spalania katalitycznego. Układem pomiarowym pozwalającym

na uzyskanie użytecznego sygnału pomiarowego takich czujników jest mostek pelisterowy [4], przedstawiony na rysunku 1a. Dwa ramiona tego mostka stanowią rezystory R_1 i R_2 , dwa pozostałe to pelistory: aktywny P_A i pasywny (nazywany również kompensacyjnym) P_P . Pelistor można w skrócie opisać jako spiralakę z cienkiego drutu platynowego zatopionego w perełce z materiału nasączonego katalizatorem w przypadku pelistora aktywnego. Pelistor pasywny nie zawiera katalizatora. Obudowę pelistorów stanowią na ogół oddzielne metalowe kubki wielkości tranzystora, w niektórych rozwiązaniach umieszcza się oba pelistory we wspólnej obudowie.



Rys. 1. Mostek pelisterowy; a) budowa, b) przebieg napięcia wyjściowego po załączeniu napięcia zasilania

Fig. 1. Pellistor bridge; a) construction, b) output voltage after switching on supply voltage

Pelistor aktywny P_A działa zarówno jako grzejnik podwyższający temperaturę katalizatora do temperatury zapłonu, jak i w parze z pelistorem pasywnym jako termometr rezystancyjny wyodrębniający sygnał zależny od procesu spalania katalitycznego. Po czasie kilku do kilkunastu sekund od momentu załączenia napięcia zasilania mostka jego napięcie wyjściowe U_{wy} ustala się (rys. 1b), co oznacza równowagę termiczną zarówno w procesie nagrzewania się pelistorów, jak i spalania katalitycznego. Napięcie wyjściowe w stanie ustalonym jest praktycznie proporcjonalne do stężenia gazu w zakresie niewielkich stężeń (do około 10% w przypadku metanu) [4]. Względnie długi czas ustalania napięcia wyjściowego mostka powoduje szereg trudności w praktycznych zastosowaniach. Trudno jest przede wszystkim uchwycić szybkie zmiany stężeń, co ma miejsce np. w trakcie wyrzutu metanu w kopalniach. Średnia wartość prądu zasilania mostka wynosi około 100 mA, a zatem długi czas pojedynczego pomiaru stwarza konieczność stosowania odpowiednio wydajnych źródeł zasilania, co stanowi problem w przyrządach przenośnych. Ponadto pelistory zużywają się w

trakcie pomiarów, a to zmusza do częstej kalibracji przyrządów, czy wręcz powoduje konieczność wymiany czujnika.

Można wskazać dwie zasadnicze drogi poszukiwania możliwości skracania pomiaru. Jedna polega na wprowadzaniu takich zmian w konstrukcji mechanicznej i technologii wykonania pelistora, które prowadzą do zmniejszenia stałych czasowych procesu jego podgrzewania. Przykładem najnowszych rozwiązań w tej dziedzinie może być konstrukcja pelistora wykonana techniką cienkowarstwową opisana w pracy [1], dla której uzyskano czasy ustalania poniżej 0.1 s. Prace nad tego rodzaju rozwiązaniami są w toku i aktualnie trudno jest określić wszystkie aspekty ich praktycznych zastosowań.

W drugim sposobie zakłada się wykorzystanie już istniejących konstrukcji pelistorów, natomiast skrócenie czasu pomiaru następuje wskutek uzyskiwania wyniku jeszcze w stanie nieustalonym. Na podstawie przykładowej odpowiedzi mostka pokazanej na rysunku 1b można stwierdzić, że tą metodą można by uzyskać kilkukrotne skrócenie czasu pomiaru. Zgodnie z ustnymi informacjami uzyskanymi od specjalistów z zakresu metanometri z kopalni doświadczalnej "Barbara" próby takie były podejmowane, lecz kończyły się niepowodzeniem. W literaturze brak jest analizy przyczyny tych niepowodzeń, lecz można sądzić, że głównym ich powodem były zbyt proste środki użyte do uzyskania wyniku. Jeden ze sposobów polegał na określaniu stężeniu gazu na podstawie czasu przejścia przez zero odpowiedzi mostka. Czas ten zależy jednak od wielu czynników nie związanych z mierzonym stężeniem, stąd dane tego rodzaju są praktycznie nieprzydatne.

W chwili obecnej pojawiły się przesłanki osiągnięcia pozytywnych rezultatów w uzyskiwaniu wyniku pomiaru stężenia w stanie nieustalonym mostka. Przede wszystkim dostępne są powszechnie mikroprocesory wraz z odpowiednim oprogramowaniem, mogące szybko realizować złożone algorytmy zbierania i przetwarzania danych pomiarowych. Ponadto pojawiają się opracowania szybkich algorytmów odtwarzania wejściowych przebiegów dynamicznych nieliniowych przetworników pomiarowych [2], pozwalające na bieżącą pracę przyrządów mikroprocesorowych.

Jednak wykorzystanie tych potencjalnych możliwości wymaga przede wszystkim szczegółowej analizy mostka pelistorowego w stanie nieustalonym. Aby umożliwić taką analizę podjęto dwojakiego rodzaju działania. Przede wszystkim zbudowano układ badania odpowiedzi mostków pelistorowych opisany w pracy [3]. Układ ten umożliwia pomiar i rejestrację na dyskietkach wartości chwilowych odpowiedzi mostka, a także prądu płynącego

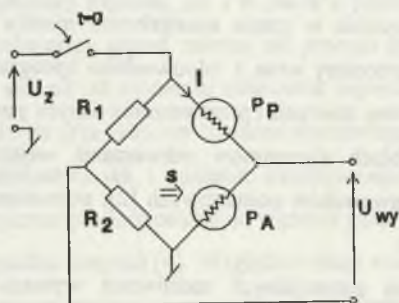
przez pelistory, co w praktyce pozwala na wyznaczenie za pomocą mikrokomputera IBM PC zmian wszystkich istotnych parametrów mostka zachodzących w czasie trwania stanu niustalonego.

Drugim istotnym etapem analizy jest opracowanie modelu mostka pelistorowego w stanie niustalonym, przeprowadzenie symulacyjnej analizy własności tego modelu i następnie porównanie wyników symulacji z wynikami rzeczywistymi. Postępowanie takie pozwoli na uzyskanie opisu matematycznego zjawisk związanych zarówno ze spalaniem katalitycznym, jak i oddziaływaniem wielkości wpływających na proces pomiaru. Należy spodziewać się, że proces dochodzenia do końcowej postaci modelu będzie wieloetapowy. W dalszym ciągu artykułu przedstawiono model matematyczny mostka pelistorowego w jego podstawowej postaci, stanowiącej punkt wyjścia do dalszych badań.

2. OPIS MODELU MOSTKA

Model mostka został zbudowany w oparciu o schemat pokazany na rysunku 2, przy następujących założeniach:

- napięcie zasilania o stałej wartości U_z zostaje włączone w chwili $t=0$;
- rezystancja wejściowa układu odbierającego sygnał wyjściowy mostka jest tak duża, że układ ten praktycznie nie obciąża mostka.



Rys. 2. Schemat ideowy mostka pelistorowego
Fig. 2. Schematic diagram of the pellistor bridge

Dla podanych założeń napięcie wyjściowe mostka dla $t > 0$ można zapisać następująco:

$$U_{wy}(t) = \frac{U_z}{R_A + R_P} R_A - \frac{U_z}{R_1 + R_2} R_2 \quad (1)$$

Zakładając, że rezystancje R_1 i R_2 są stałe, równanie to można przedstawić w postaci:

$$U_{wy} = \frac{U_z \frac{R_P}{R_A}}{1 + \frac{R_P}{R_A}} - U_o, \quad (2)$$

gdzie:

$$U_o = \frac{U_z}{R_1 + R_2} R_2 \quad (3)$$

ma wartość stałą.

Spirale pelistorów P_A i P_P wykonane są z platyny, zatem ich rezystancje R_A i R_P można wyrazić następującymi funkcjami temperatury:

$$R_A(\vartheta_A) = R_{AO}[1 + a\vartheta_A - b\vartheta_A^2], \quad (4)$$

$$R_P(\vartheta_P) = R_{PO}[1 + a\vartheta_P - b\vartheta_P^2], \quad (5)$$

gdzie: ϑ_A, ϑ_P są to odpowiednio temperatury pelistora aktywnego i pasywnego,

R_{AO}, R_{PO} - rezystancje pelistorów w temperaturze 0C,

a, b - stałe materiałowe platyny.

Po załączeniu napięcia zasilania prąd I płynący przez pelistory powoduje ich podgrzewanie. Biorąc pod uwagę małe wymiary perełki chwilowe wartości temperatury pelistorów opisują równania różniczkowe zwyczajne:

$$T_A \frac{d\vartheta_A}{dt} + \vartheta_A = k_A q_A, \quad (6)$$

$$T_P \frac{d\vartheta_P}{dt} + \vartheta_P = k_P q_P, \quad (7)$$

gdzie: q_A i q_P są to strumienie ciepła wydzielanego na pelistorach aktywnym i pasywnym,

T_A i T_P - stałe czasowe w procesie nagrzewania się pelistorów;

k_A, k_P - stałe współczynników.

Współczynniki równania (6) i (7) są stałe przy założeniu, że sumaryczny strumień ciepły oddawany na zewnątrz drogą konwekcji i promieniowania jest proporcjonalny do temperatury pelistora. W pierwszym przybliżeniu założenie takie może być przyjęte. Przy rozbudowie modelu przewiduje się przyjęcie rozwiązań uwzględniających fizykę zjawisk cieplnych.

Strumień ciepła wydzielanego na pelistorze pasywnym można opisać równaniem:

$$q_p = I^2 R_A \quad (8)$$

gdzie:

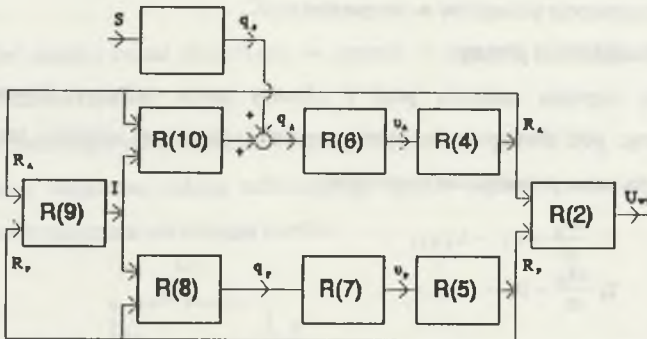
$$I = \frac{U_s}{R_A + R_p} \quad (9)$$

Natomiast strumień ciepła wydzielonego na pelistorze aktywnym jest sumą dwóch składników

$$q_p = I^2 R_A + q \quad (10)$$

gdzie: q - strumień ciepła wydzielanego w procesie spalania katalitycznego.

Podany zestaw równań nieliniowych i wzajemnie powiązanych tworzy model matematyczny mostka pelistorowego w stanie nieustalonym. Model ten w postaci graficznej przedstawiono na rysunku 3.

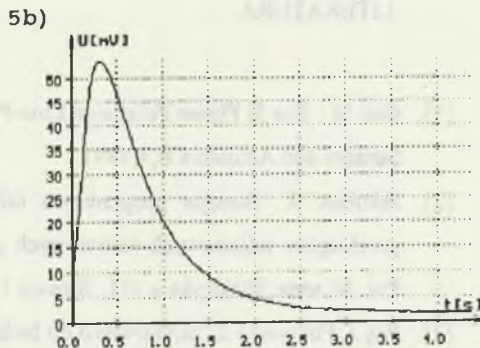
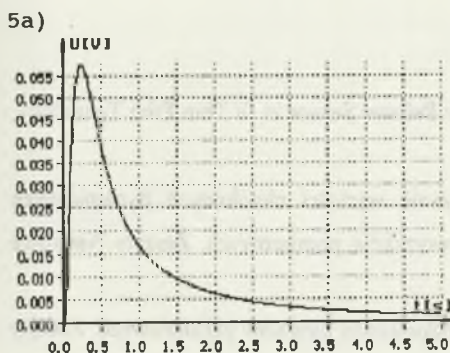
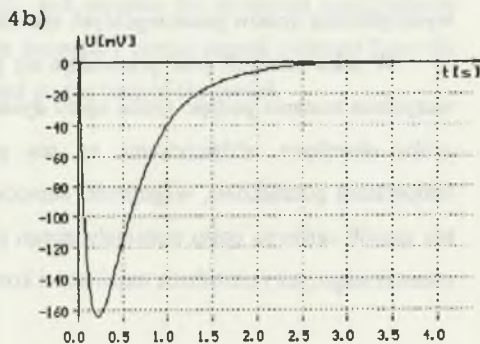
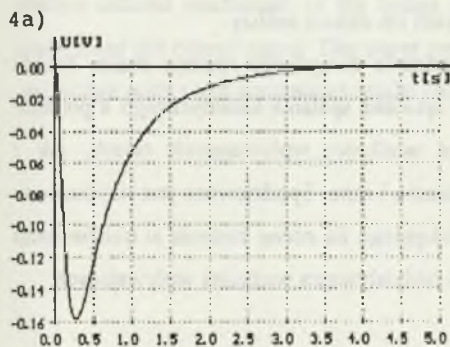


Rys. 3. Schemat blokowy modelu mostka pelistorowego w stanie nieustalonym
Fig. 3. Block-diagram of the model of the bridge in transient state

4. SYMULACJA KOMPUTEROWA MODELU

W celu umożliwienia symulacyjnego badania własności mostka pelistorowego napisano program w języku Turbo Pascal na mikrokomputer IBM PC. Program ten na podstawie zadanych parametrów mostka umożliwia wyznaczenie odpowiedzi czasowych w dowolnym

punkcie schematu modelu mostka z rysunku 3. Na rysunku 4a pokazano dla przykładu obliczony przebieg napięcia wyjściowego mostka w porównaniu z przebiegiem zmierzonym (rys. 4b) przy założeniu, że stała czasowa pelistora pasywnego jest mniejsza od stałej pelistora aktywnego. Na rysunkach 5a, b przedstawione są wyniki dla sytuacji odwrotnej: stała czasowa pelistora aktywnego jest większa.



Rys. 4,5. Przykładowe przebiegi na wyjściu mostka w stanie nieustalonym;
 a) przebieg uzyskany na drodze symulacyjnej;
 b) przebieg zmierzony

Fig. 4,5. Exemplary output voltage in transient state
 a) measuring results created by the simulation way;
 b) measuring results from real bridge

5. UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Zbudowany model wraz z programem symulacyjnym w połączeniu ze stanowiskiem do badań mostków pelikstorowych stanowi bardzo przydatne narzędzie do analizy tego rodzaju układów w stanach nieustalonych. Może być stosowany zarówno do badań stanów nieustalonych po załączeniu napięcia zasilania, jak i analizy przy dynamicznej zmianie stężeń. Złożoność zjawisk występujących w tych stanach i ich nieliniowość powodują konieczność wyodrębnienia opisów poszczególnych zjawisk w celu ich dalszej analizy.

W toku dalszych prac przewiduje się prowadzenie dwojakiego rodzaju analiz. Przede wszystkim zostanie podjęta próba opisu dynamiki zjawiska spalania katalitycznego a ponadto próba określenia oddziaływania na ten proces wielkości wpływających takich, jak : temperatura początkowa, wilgotność, napięcie zasilania i inne. Spodziewane jest uzyskanie w ten sposób zarówno opisu matematycznego pozwalającego na ocenę stężenia w trakcie stanu nieustalonego, jak i określenia możliwości korekcji oddziaływania wielkości wpływających.

LITERATURA

- [1] Gall M.: The Si Planar Pelistor: a Low-Power Pelistor Sensor in Si Thin-Film Tehnology, Sensors and Actuators B,4,1991.
- [2] Jakubiec J.: Bieżące programowe odtwarzanie wartości chwilowych dynamicznych przebiegów wejściowych nieliniowych przetworników pomiarowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. seria: Elektryka z.111, Gliwice 1988.
- [3] Roj J, Pokrywka Z.: Stanowisko do badania odpowiedzi mostków pelistorowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. seria Elektryka z.134, Gliwice 1994.
- [4] Combustible Gas Detectors. Electric Value Company Ltd, Chelmsford, Essex, England 1977.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierk

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 czerwca 1993 r.

Abstract

Most instruments designed for measuring combustible mixtures concentration signal use pellistor bridge as a sensor. The response time of output voltage of the bridge after switching on supply voltage is a few seconds. It is possible to make time of measurement shorter using instantaneous values of the output voltage to estimate the measured concentration during the transient state. It is based on the bridge for the transient state. The presented model enables to analyse detailed mechanism of the bridge activity and separate the measured concentration signal from the output signal. The paper presents exemplary output signals obtained from the real bridge output and simulations results calculated on the base of the model.