

*XV Seminarium*  
**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2005**  
Oddział Gdański PTETiS

**STANOWISKO DO BADANIA CZUJNIKÓW TEMPERATURY  
W LABORATORIUM METROLOGII PRZEMYSŁOWEJ**

**Lucjan WILCZEWSKI**

Politechnika Gdańska. Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel: 347-17-78                      fax: 347-17-26    e-mail: lwilcz@ely.pg.gda.pl`

W Laboratorium Miernictwa Przemysłowego powstało stanowisko dydaktyczno-badawcze do badania czujników temperatury, wykorzystujące mierniki N12T firmy Lumel oraz szereg termoelektrycznych i rezystancyjnych czujników temperatury. Mierniki N12T można zdalnie programować jak również odbierać dane przez nie zarejestrowane. Do zdalnej transmisji wykorzystywana jest magistrala szeregową RS485 z użyciem protokołu MODBUS. Zastosowanie konwertera RS485/RS232 pozwala na połączenie z magistralą komputera i z jego pomocą odbiór wyników pomiarów z wybranych przyrządów połączonych magistralą. Odebrany wynik można następnie przetwarzać i wizualizować z wykorzystaniem komputera, celem badania niektórych własności czujników temperatury. Oprogramowanie do akwizycji wyników pomiarów oraz wizualizujące zrealizowane zostało w środowisku LabVIEW.

## **1. WSTĘP**

Temperatura jest jedną z najczęściej mierzonych wielkości w przemyśle. Dla pewnych zastosowań podstawowym problemem, na który napotyka się mierząc temperaturę jest duża bezwładność cieplna czujników. O bezwładności decyduje przede wszystkim rodzaj obudowy czujnika. Znajomość podstawowych własności dynamicznych czujnika jest konieczna dla ustalenia niezbędnego czasu pomiaru w przypadku pomiarów dorywczych, wyznaczenia rzeczywistych przebiegów temperatury mierzonej, oraz opracowania właściwego układu pomiarowego współpracującego z czujnikiem, bądź członów korekcyjnych w układach regulacji temperatury [1].

W Laboratorium Miernictwa Przemysłowego opracowane zostało stanowisko dydaktyczno-badawcze do badania czujników temperatury. Stanowisko to wykorzystane jest między innymi w objętym programem przedmiotu Miernictwo Przemysłowe ćwiczeniu pod tytułem „Badanie czujników temperatury”, które ma na celu zapoznanie studenta z własnościami dynamicznymi czujników temperatury tak, aby wybierając czujnik do konkretnego zastosowania był świadom możliwości i ograniczeń różnych typów czujników.

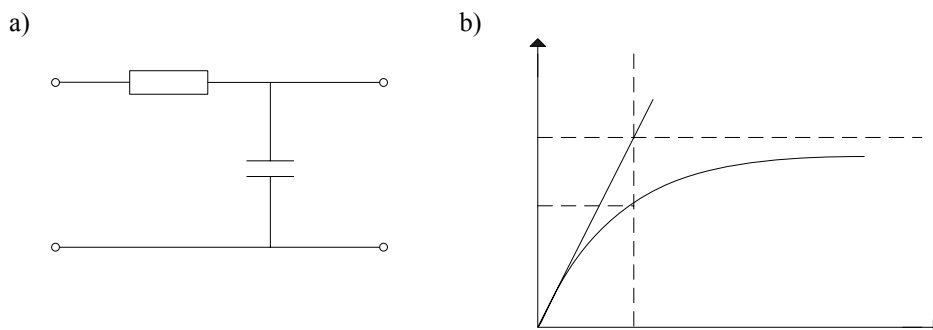
## 2. WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE CZUJNIKÓW TEMPERATURY

W sposób całościowy właściwości dynamiczne czujnika temperatury opisuje jego stała czasowa  $\tau$ . Współczynnik ten należy interpretować jako czas, po upływie, którego odpowiedź czujnika osiągnęłaby wartość ustaloną przy skokowej zmianie temperatury, gdyby prędkość zmiany była stała i równa prędkości zmiany w chwili początkowej.

Analogiem elektrycznym czujnika temperatury bez obudowy jest układ szeregowy RC (rys.1a), gdzie rezystancja R odpowiada oporowi cieplnemu, zaś pojemność C – pojemności cieplnej czujnika. Rzeczywiste termometry, zwłaszcza termoelementy, są umieszczane w kilkuwarstwowej osłonie wykonanej z materiałów, które na ogół charakteryzują różne pojemności cieplne i różne współczynniki przewodzenia ciepła. Osłony te zabezpieczają termometr przed szkodliwym wpływem ośrodka, w którym mierzona jest temperatura. Osłona w sposób zdecydowany zmienia właściwości dynamiczne czujnika. Najprostszym analogiem elektrycznym czujnika w osłonie jest kaskadowe połączenie członów RC.

Dla doświadczalnego wyznaczenia właściwości dynamicznych czujników dobiera się odpowiednio zmienny w czasie sygnał wejściowy. Najczęściej stosuje się jeden z następujących czterech rodzajów pobudzenia: sinusoidalne, narastające ze stałą prędkością, impulsowe (funkcja  $\delta$  Diraca), skoku jednostkowego ( $I(t)$ ).

W przypadku badania czujnika temperatury szczególne znaczenie zyskało pobudzenie skokiem jednostkowym, ze względu na proste zależności teoretyczne i względną łatwość fizycznej realizacji. Właśnie ten rodzaj pobudzenia, dla wyznaczenia stałej czasowej czujnika, wykorzystują studenci w ramach ćwiczenia „Badanie czujników temperatury” w celu wyznaczenia stałej czasowej czujnika (Rys.1b).

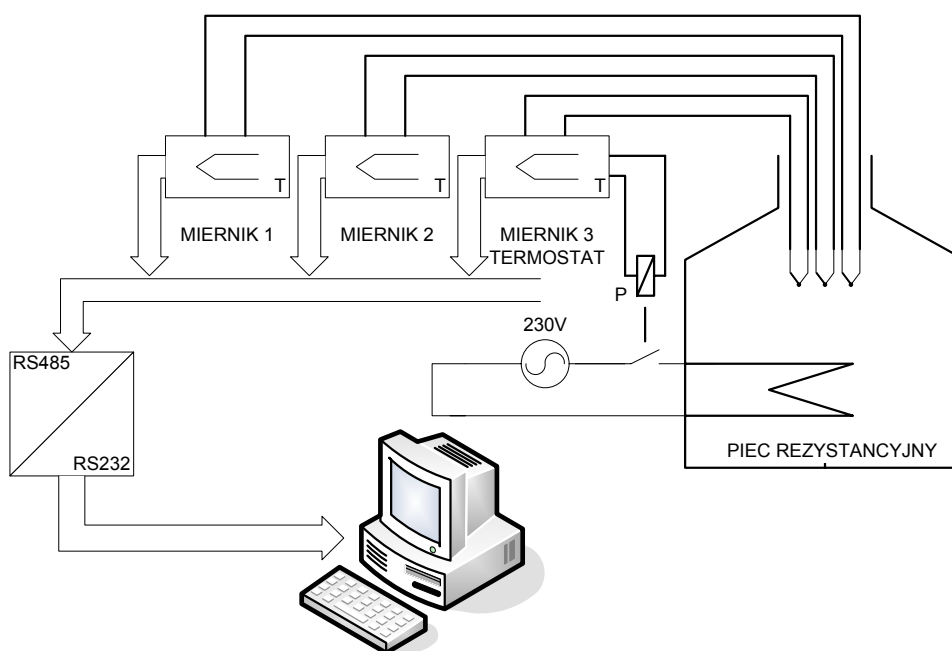


Rys. 1. Analog elektryczny (a) czujnika temperatury bez osłony i jego odpowiedź (b) na pobudzenie skokiem jednostkowym

## 3. STANOWISKO DO BADANIA CZUJNIKÓW TEMPERATURY

W skład opracowanego stanowiska dydaktyczno-badawczego do badania czujników temperatury (Rys.2) wchodzi trzy programowalne cyfrowe mierniki temperatury N12T produkcji firmy Lumel, zestaw czujników różnego typu (termoelektryczne i rezystancyjne), piec grzejny sterowany przekaźnikiem, konwerter RS485/RS232 i komputer z oprogramowaniem opracowanym w środowisku LabVIEW [2]. Mierniki o numerach 1 i 2 przeznaczone

czone są do realizacji zadań pomiarowych objętych programem ćwiczenia, zaś miernik o numerze 3 pełni rolę termostatu sterującego pracą pieca grzejnego.



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska do badania czujników temperatury

Miernik N12T pozwala na pomiar temperatury z wykorzystaniem czujników termorezystancyjnych (Pt100, Pt500, Pt1000, Cu100, Ni100) i termoelektrycznych (typy J, K, N, E, R, S). Miernik posiada możliwość automatycznej i ręcznej kompensacji zmian warunków pracy czujnika. Ponadto istnieje możliwość zadawania indywidualnej liniowej charakterystyki. Mierniki te wyposażone są w wyjścia przekaźnikowe z możliwością wprowadzenia opóźnienia załączenia i histerezy, które pozwalają wykorzystać mierniki N12T do sterowania temperaturą monitorowanego medium. Programowanie mierników odbywa się przy użyciu panelu miernika, bądź poprzez interfejs szeregowy RS485 w oparciu o protokół MODBUS.

Celem zapewnienia komunikacji między miernikiem a komputerem zastosowany został konwerter RS232/RS485, który zapewni konwersję z jednego protokołu na drugi.

## 4. OPROGRAMOWANIE STANOWISKA

### 4.1 Protokół MODBUS

Standard protokołu MODBUS [3] pozwala na transmisję w dwóch trybach: ASCII i RTU. W trybie ASCII ramka przesyłanych danych ma większy rozmiar, ale między kolejnymi znakami dopuszczalne są przerwy nawet do 1 sekundy. Tryb RTU pozwala uzyskać mniejszy rozmiar ramki przesyłanych danych, ale już przerwa 1,5 znaku prowadzi do błędnego rozpoznania wyniku, bowiem następny bajt może być potraktowany jako początek nowej ramki danych. W opracowanym programie wykorzystany został tryb ASCII, gdyż w

prezentowanym stanowisku prędkość zmian temperatury jest znacznie mniejsza od prędkości przesyłu danych. Ramka danych w trybie ASCII ma format jak na rysunku 4.

Start	Adres	Funkcja	Dane	Suma kontrolna LRC	Koniec
1 znak	2 znaki	2 znaki	n znaków	2 znaki	2 znaki
:					CRLF

Rys. 4. Format ramki danych w trybie ASCII protokołu MODBUS

W trybie ASCII ramkę danych rozpoczyna dwukropek. Następnie podawany jest unikalny adres urządzenia umożliwiający jego identyfikację, ponieważ interfejs RS485 jest interfejsem o charakterze magistrali i pozwala na połączenie do 32 urządzeń. Po adresie następuje kod funkcji. W miernikach serii N12 zaimplementowane są cztery funkcje protokołu MODBUS, umożliwiające odczyt n-rejestrów, zapis pojedynczego rejestru, zapis n-rejestrów oraz identyfikację urządzenia slave.

Po kodzie funkcji występują bajty zawierające dane, w tym dla większości funkcji informacje o rejestrach, na których wykonywana będzie operacja. Pamięć miernika została zorganizowana zgodnie ze standardem protokołu MODBUS w szereg rejestrów pojedynczych 32 bitowych i skojarzonych parami rejestrów 16 bitowych. Na rejestrach można dokonywać operacji odczytu i zapisu, z wyjątkiem grupy rejestrów zabezpieczonych, przechowujących dane tylko do odczytu. Dane odczytane są zapisane zgodnie ze standardem zapisu liczb zmiennoprzecinkowych IEEE 754, i w tym samym standardzie powinny być zapisane dane przekazywane do miernika.

Ramkę kończy obliczona suma kontrolna LRC i dwa znaki: CR i LF.

Przykładowa ramka realizująca odczyt z rejestru o numerze 7200 urządzenia o adresie 5 miałaby postać: :05031C200001BB.

#### 4.2. Funkcjonalność oprogramowania

Możliwość programowania miernika N12T przy użyciu transmisji szeregowej opartej na protokole MODBUS została wykorzystana przy opracowywaniu programu umożliwiającego sterowanie procesem grzania pieca oraz rejestrację przebiegów czasowych temperatury zmierzonej dwoma miernikami. Panel programu przedstawiony został na rysunku 5.

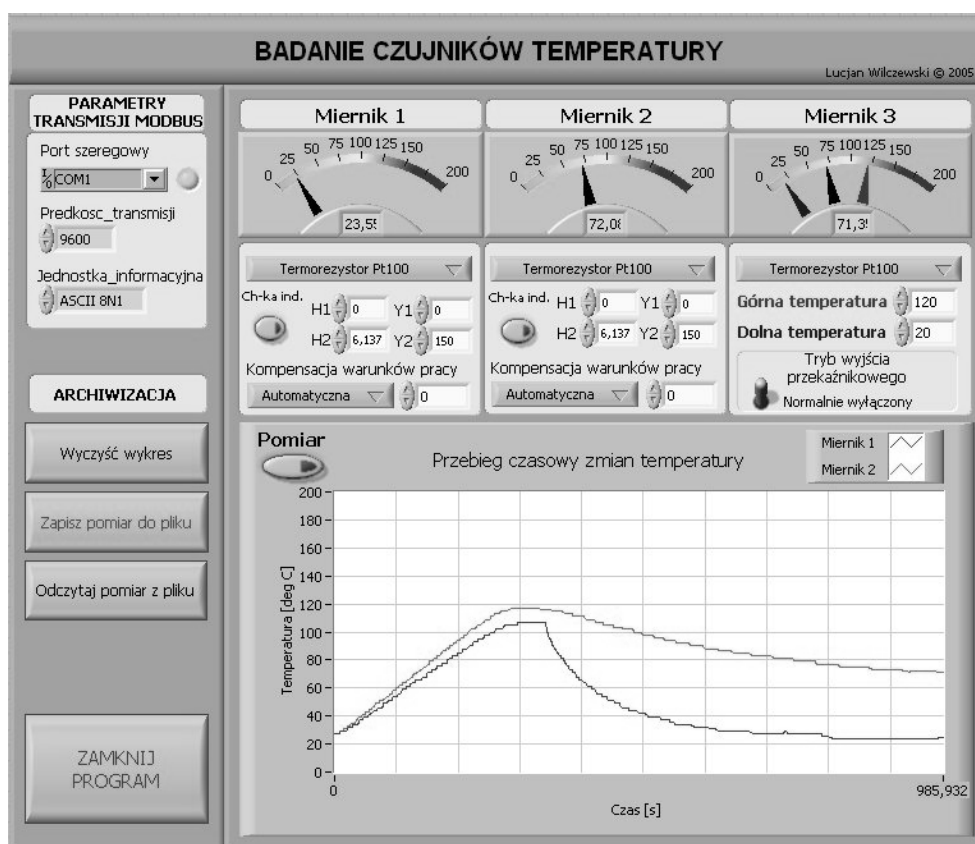
Ponieważ stanowisko przeznaczone jest do badania różnych czujników temperatury program pozwala na ustawienie typu czujnika dla każdego ze stosowanych mierników.

Miernik o numerze 3 pełni rolę termostatu. Sterowanie procesem nagrzewania pieca oparte jest o funkcję alarmu miernika skojarzoną z jednym z wyjść przekaźnikowych. Zadawany jest tryb działania wyjścia przekaźnikowego (zależnie czy stanem normalnym przekaźnika jest stan otwarty czy zamknięty) oraz dwie wartości progowe temperatury, górna i dolna, co pozwala na realizację histerezy załączania i wyłączania przekaźnika. W związku z tym w przypadku, gdy stanem normalnym przekaźnika jest stan otwarty grzałka pieca będzie zasilana do momentu uzyskania przez piec temperatury określonej parametrem „Górna temperatura”, kiedy to zostanie wyłączone zasilanie. Zasilanie grzałki będzie wyłączone aż do momentu uzyskania przez piec temperatury określonej parametrem „Dolna temperatura”.

Dla mierników realizujących pomiar wprowadzono w programie dodatkowo możliwość wyboru trybu kompensacji, wraz z możliwością podania wartości temperatury wolnych końców lub rezystancji dopasowującej linię dla trybu kompensacji ręcznej. Wprowadzono także możliwość wyboru i określenia parametrów indywidualnej charakterystyki

liniowej, gdzie współczynniki H1 i H2 odpowiadają wartości mierzonej, a Y1 i Y2 odpowiadają oczekiwanej wartości na wyświetlaczu miernika.

Ponieważ jednym z kluczowych zadań stanowiska jest umożliwienie wyznaczenia stałej czasowej badanego czujnika temperatury w oparciu o odpowiedź czujnika na pobudzenie skokiem jednostkowym, program wyposażony jest w możliwość rejestracji przebiegów zmian temperatury mierzonej miernikami o numerach 1 i 2. Rejestracja wyzwalana jest przyciskiem pomiar. Funkcje archiwizacji pozwalają wyczyścić wykres przebiegów czasowych zmian temperatury, zapisać zarejestrowane przebiegi do pliku oraz odczytać zarejestrowane wcześniej przebiegi.



Rys. 5. Panel przyrządu realizującego odczyt wyników pomiarów z mierników przy użyciu protokołu MODBUS.

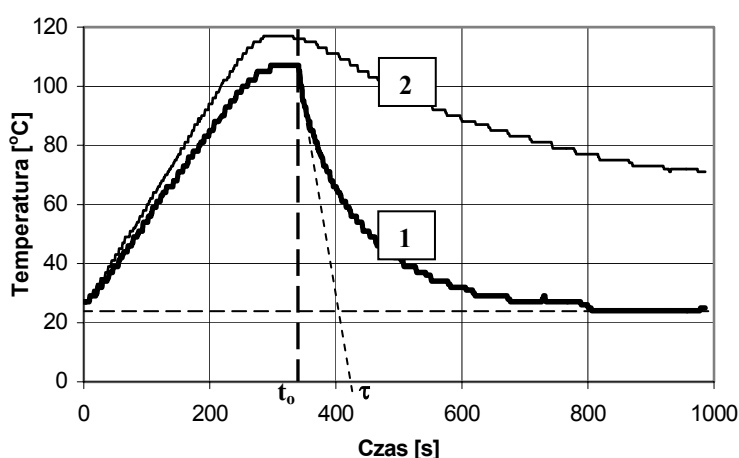
## 5. PODSUMOWANIE

W laboratorium Miernictwa Przemysłowego opracowane zostało stanowisko dydaktyczno-badawcze zbudowane na bazie programowalnych mierników temperatury N12T produkcji firmy Lumel. Możliwość programowania mierników poprzez interfejs RS485 pozwoliła na opracowanie oprogramowania sterującego piecem grzejnym, będącym źródłem mierzonej temperatury, oraz rejestrującego wartości zmierzone przez mierniki współ-

pracujące z badanymi czujnikami różnego typu. Przykładowe zarejestrowane przebiegi temperatury zaprezentowane zostały na rysunku 6.

W oparciu o zarejestrowane przebiegi istnieje możliwość wyznaczenia stałej czasowej, która w sposób całościowy opisuje właściwości dynamiczne czujnika.

Opracowane stanowisko zostało wykorzystane w ćwiczeniu „Badanie czujników temperatury” w programie Laboratorium Miernictwa Przemysłowego. Przebadanie w ramach ćwiczenia szeregu różnych czujników, o różnej metodzie pomiaru i w różnych osłonach pozwala uświadomić studentowi zagadnienia istotne przy doborze czujnika do konkretnego zastosowania.



Rys. 6. Przykładowe przebiegi czasowe temperatury zarejestrowane przy użyciu opracowanego oprogramowania.

- 1 – przebieg czasowy zmian temperatury dla termopary typu K o stałej czasowej  $\tau$ , w trakcie nagrzewania pieca i wyjętej z pieca po osiągnięciu zadanej temperatury w chwili  $t_0$
- 2 – przebieg czasowy zmian temperatury dla termopary typu J, w trakcie nagrzewania i stygnięcia pieca

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Michalski A., Tumański S., Żyła B.: Laboratorium miernictwa wielkości nieelektrycznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999, ISBN 83-87012-04-1
2. Świsulski D.: Komputerowa technika pomiarowa, Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa 2005, ISBN 83-87982-56-3
3. Specyfikacja protokołu MODBUS PI-MBS-300 firmy Modicon

## TEMPERATURE SENSORS EXAMINATION AT INDUSTRIAL MEASUREMENTS LABORATORY

A test stand for temperature sensors examination based on programmable temperature meters is described in this article. Also a short brief of MODBUS protocol usage is presented. Described test stand is meant for use at Industrial Measurements Laboratory.