

LABORATORIUM: Identyfikacja obiektu cieplnego z wykorzystaniem sterowników firmy Beckhoff oraz oprogramowania Matlab

Wprowadzenie

Celem ćwiczenia jest zidentyfikowanie obiektu cieplnego dla zadanego punktu pracy. **Identyfikacja obiektu sterowania** polega na stworzeniu modelu i określeniu parametrów (współczynników) obiektu na podstawie obserwacji. Najprostszą i najbardziej rozpowszechnioną w automatyce metodą identyfikacji obiektu jest analiza odpowiedzi obiektu na ściśle określone wymuszenie podane na jego wejście. Typowymi sygnałami testowymi są: skok jednostkowy, skok prędkości (wymuszenie liniowe), sygnał prostokątny, wymuszenie trójkątne, sinusoidalne, trapezowe czy też prostokątne.

Najprostszym sposobem określenia transmitancji obiektu jest aproksymowanie jego nieznannej transmitancji odpowiednią znaną (np. dającą przybliżoną odpowiedź skokową jak oryginalny obiekt).

Ćwiczenie składa się z 4 etapów:

1. Przygotowanie teoretyczne w domu:

- pobranie, zainstalowanie i zapoznanie się z pakietami TwinCAT oraz Beckhoff Information System z lokalizacji www.beckhoff.pl (wprowadzając dane na stronie www należy podać informację, że osoba pobierająca jest studentem PRz),
- zapoznanie się z modelem obiektu cieplnego typu „inercja + opóźnienie” oraz sposobami identyfikacji parametrów jego transmitancji,
- zapoznanie się z podstawami działania modułów analogowych we/wy KL3448 oraz KL4418 (**punkt 1 i 2 instrukcji**),
- przypomnienie podstaw programowania w języku ST.

2. Wykonanie eksperymentu identyfikacji obiektu cieplnego(punkt 3 instrukcji):

- podanie na wejście obiektu wartości skoku jednostkowego, który pozwoli, aby obiekt po ustabilizowaniu miał wartość na wyjściu zbliżoną do zadanego punktu pracy,
- dla ustabilizowanego obiektu w zadanym punkcie pracy zwiększenie wartości sterowania o 10%,

3. Aproksymacji obiektu z wykorzystaniem pakietu Matlab (punkt 4 instrukcji).

4. Wykonanie sprawozdania, które powinno zawierać:

- wyszczególnienie kolejno wykonanych działań,
- widoki ekranowe (treść instrukcji zawiera przypomnienia o wymaganych widokach):
 - widok ekranu z TwinCAT Scope View ukazujący przebieg identyfikacyjny,
 - wykres ukazujący dopasowanie przebiegu zarejestrowanego i odpowiedzi transmitancji modelującej,
- wzór zidentyfikowanej transmitancji,
- wnioski i spostrzeżenia.

Literatura

- J. Kasprzyk, *Programowanie sterowników przemysłowych*, ISBN 83-204-3109-3, WNT 2005
- T.Legierski, J.Kasprzyk, J.Wyrwał, J.Hajda, *Programowanie sterowników PLC*, Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego
- materiały pomocnicze na stronie www.automatyka.kia.prz.edu.pl (głównie: *Sterowniki_IEC61131-3.pdf*)
- *Beckhoff Information System* – do pobrania ze strony www.beckhoff.pl oraz dokumentacje ze strony www.beckhoff.pl

1. Analogowe prądowe moduły wejścia/wyjścia

Sterownik połączono z obiektem cieplnym przy użyciu pary modułów szyny K-Bus, **KL3448** i **KL4418**, stanowiących odpowiednio wejście i wyjście dla analogowych sygnałów prądowych z zakresu **0..20mA**. Zakres 0..20mA jest jednym ze standardów przemysłowych, używanych do przekazywania sygnałów analogowych. Inne standardy wykorzystują m.in. zakres prądowy 4..20mA, zakres napięciowy -10..+10V lub sygnał napięciowy wygenerowany poprzez modulację szerokości impulsu prostokątnego (PWM).

Szczegółowe informacje o wszystkich modułach dostępnych dla sterowników Beckhoff uzyskać można w programie **Beckhoff Information System** (do pobrania ze strony Beckhoff) lub wyszukując opis na podstawie nazwy modułu bezpośrednio w Internecie.

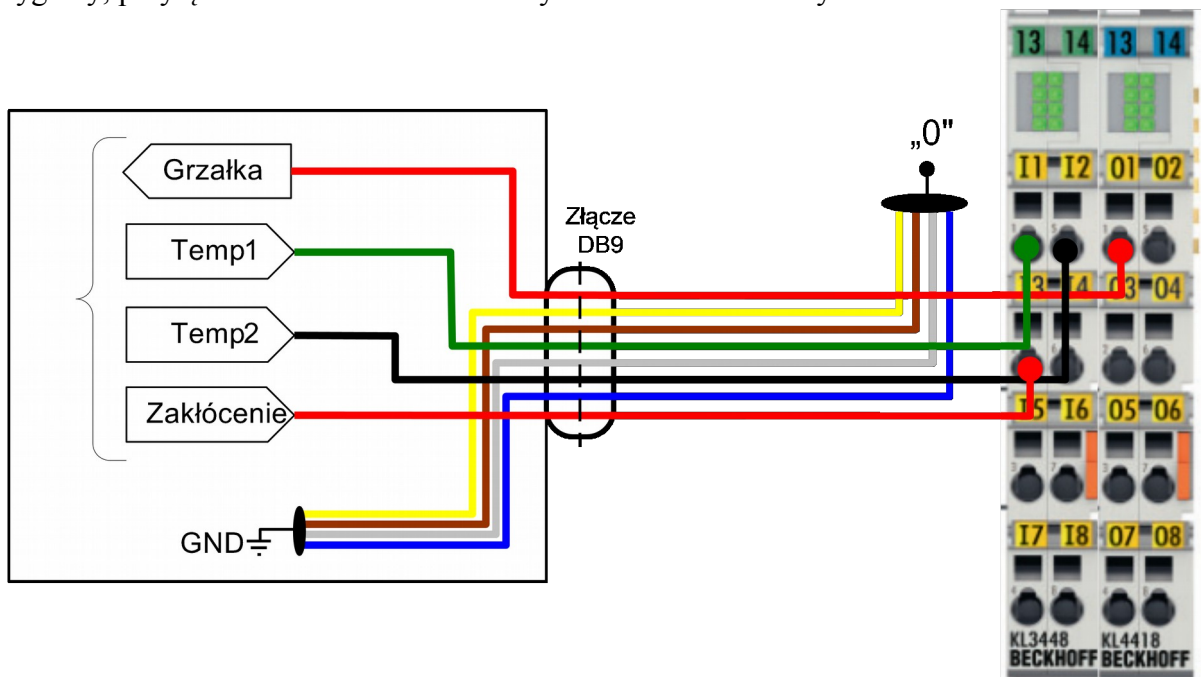
Na potrzeby realizowanego ćwiczenia istotne są podstawowe informacje o działaniu modułów:

1. Zarówno moduł wejściowy jak i wyjściowy są 8-kanalowe. Połączenia elektryczne są asymetryczne (odniesione do masy) i wyprowadzenia kolejnych kanałów odpowiadają kolejnym zaciskom modułów (od górnego lewego do dolnego prawego). Połączenie masy należy zapożyczyć z innych modułów sterownika, np. z zacisku "-" modułu zasilacza.
2. Pojedynczy moduł KL3448 oraz KL4418 zrealizowany jest jako połączenie dwóch logicznych bloków 4-kanalowych, umieszczonych w jednej obudowie. W przestrzeni obrazu procesu każdy blok logiczny prezentowany jest oddzielnie, dlatego po przeszukaniu szyny K-Bus w TwinCAT System Manager, na liście pojawiają się dwa wpisy KL3448 (odpowiednio dla kanałów 1-4 oraz 5-8) i analogicznie dwa wpisy dla KL4418.
3. Moduły KL3448 oraz KL4418 mogą pracować w dwóch trybach: konfiguracja poprzez rejestry (*register communication mode*) oraz właściwa wymiana danych we/wy (*process data mode*). Domyślnie moduły realizują drugi z podanych trybów, pozwalający na normalną pracę – tylko ten tryb będzie wykorzystywany. Tryb konfiguracji pozwala na ustawienie wielu szczegółowych parametrów pracy modułów.
4. W trybie *process data mode* odczyt wejścia i zapis wyjścia analogowego sprowadza się odpowiednio do odczytu rejestru wejściowego danych (DataIn<n>) właściwego kanału modułu KL3448 i zapisu rejestru wyjściowego danych (DataOut<n>) wybranego kanału modułu KL4418. Wymienione rejestry są 16-bitowe (typ WORD lub INT) i przechowują (w domyślnej konfiguracji) wartości wejść/wyjść przetworników 12-bitowych, reprezentowane kodem całkowitoliczbowym U2 i wyrównane bitowo do lewej strony (a więc do pozycji MSB). Pomimo kodowania U2, wartości mogą być tylko dodatnie ze względu na unipolarny zakres przetwarzania modułów. Ostatecznie, praktyczny wniosek jest następujący: **pełnemu zakresowi we/wy: 0..20mA odpowiada zakres liczbowy: 0..7FFFh zawartości rejestrów, przy czym rozdzielczość dyskretyzacji po stronie rejestrów wynosi 8 (3-najmłodsze bity są „zamrożone”)**.

2. Połączenie sterownika z obiektem cieplnym

Wejście sterowania (moc grzałki) obiektu cieplnego przyłączone jest do wyjścia 1 modułu KL4418. Wyjścia pomiaru temperatury obiektu cieplnego przyłączone są do kanałów wejściowych 1 i 2 modułu KL3448, natomiast wyjście poziomu zakłócenia (prędkość wentylatora wewnętrznego) przyłączone jest do kanału wejściowego 3 modułu KL3448.

Schemat połączeń ukazuje rysunek poniżej. W ćwiczeniu wykorzystywane są tylko dwa sygnały, przyłączone do zacisków nr 1 obydwu modułów we/wy.



3. Identyfikacja obiektu

UWAGA:

W czasie eksperymentu identyfikacyjnego używane będą dwa programy z pakietu **TwinCAT System**, połączone *on-line* ze sterownikiem: **TwinCAT PLC Control** oraz **TwinCAT Scope View**. Przechodząc pomiędzy programami nie należy zamykać żadnego z nich, aż do zakończenia eksperymentu.

3.1. Otwarcie szablonów projektowych

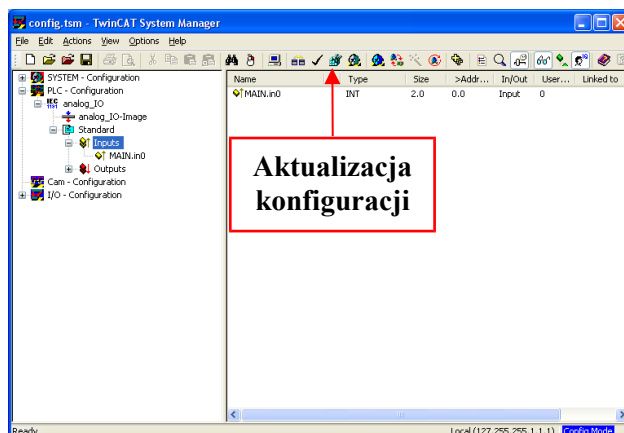
Otworzyć pliki:

- `<Pulpit>\SzablonyBeckhoff\CX\Ident\ident.pro`
który jest szablonem projektowym dla programu **TwinCAT PLC Control**.
- `<Pulpit>\SzablonyBeckhoff\CX\Ident\config.tsm`
który jest szablonem projektowym dla programu **TwinCAT PLC System Manager**.
- `<Pulpit>\SzablonyBeckhoff\CX\Ident\scope.scp`
który jest szablonem projektowym dla programu **TwinCAT PLC Scope View**.

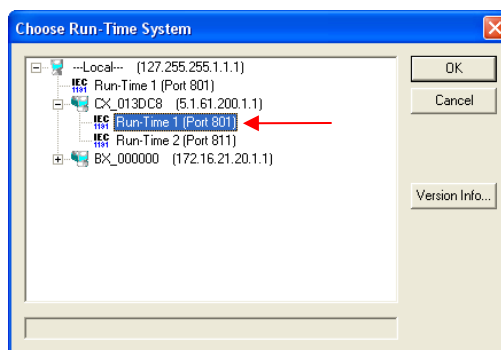
UWAGA: Istnieje możliwość samodzielnego utworzenia projektu, zamiast użycia plików szablonowych. Szczegółowe kroki opisane są w dodatku A i B.

3.2. Uruchomienie programu PLC

- Przygotowaną konfigurację przesłać do systemu PLC (**TwinCAT PLC System Manager**). System powinien zostać przełączony w tryb pracy (RUN):




- Powrócić do **TwinCAT PLC Control** i uruchomić program sterownika w trybie *online*, tj:
 - Zweryfikować wybór adresu sterownika w oknie **Online** → **Choose Run-Time System...**



- Zalogować się do sterownika: **Online** → **Login**
- Uruchomić program: **Online** → **Run** (w czasie wykonywania programu kontrolki LED w modułach KL3448 i KL4418 powinny świecić na zielono).

3.3. Realizacja eksperymentu

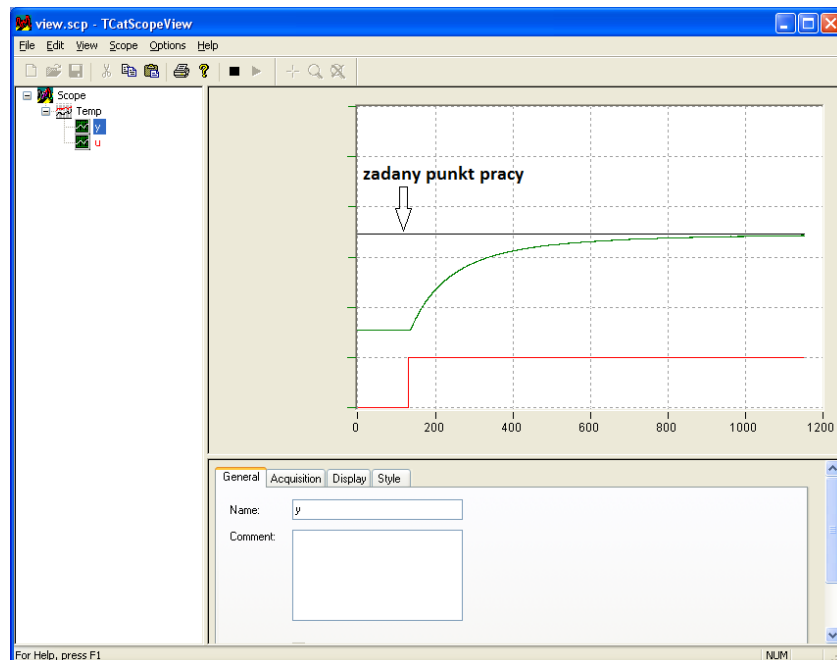
- Wybrać w programie **TwinCAT Scope View** opcję **Scope** → **Start Scope** (lub przycisk ) → uruchomienie rejestracji przebiegów.
- Obserwowane sterowanie powinno mieć stałą wartość 0, natomiast sygnał pomiarowy pewną wartość ustaloną lub dążącą do ustalonej (zależnie od czasu, który upłynął od załączenia sterowania obiektu).
- Eksperyment powinien przebiegać w dwóch etapach:
 - Ustabilizowanie obiektu:** po tym jak prowadzący określi wartość zadanego punktu pracy, dla którego będzie przeprowadzana identyfikacja, należy podać na wejście obiektu wartość skoku, tak aby wartość na jego wyjściu ustabilizowała się jak najbliżej wartości zadanej. Prowadzący określa czy obiekt ustabilizował z

wystarczającą dokładnością dla zadanego punktu pracy. **Jeśli prowadzący nie poda zadanego punktu pracy, to należy przyjąć temperaturę 50 °C.**

2. **Przeprowadzenie właściwego eksperymentu:** zwiększenie wartości skoku sterowania o 10% (**10% wartości bieżącej, nie 10% zakresu sterowania**).

3.3.1. Ustabilizowanie obiektu

- Sterowanie ustawić na pewną wartość początkową, która będzie punktem odniesienia dla dalszej identyfikacji (**do ustabilizowania obiektu w punkcie pracy wystarczy podać wartość z zakresu 0-30% i nie należy go przekraczać**).
- Aby zmodyfikować sterowanie w **TwinCAT PLC Control** kliknąć na wartości modyfikowanej zmiennej i w otwartym oknie dialogowym podać nową wartość, następnie wybrać opcję **Online → Write Values** (lub klawisze [ctrl + F7]). Po tej operacji program **TwinCAT Scope View** powinien zarejestrować skokową zmianę sterowania i rozpoczęcie wzrostu wartości temperatury.



- Należy odczekać, aż temperatura osiągnie nową wartość ustaloną (**obiekt musi się ustabilizować**) zbliżoną do zadanego punktu pracy. Trwa to ok. 10-15 minut.
- Jeżeli wartość na wyjściu obiektu różni się znacznie od zadanego punktu pracy, to należy schłodzić obiekt i powtórzyć eksperyment dla innej wartości sterowania.

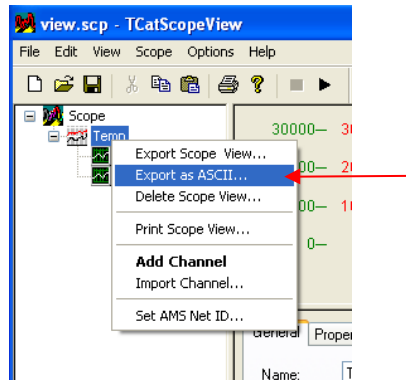
3.3.2. Realizacja właściwego eksperymentu

Po ustabilizowaniu się wartości temperatury w zadanym punkcie pracy należy przystąpić do zasadniczej części eksperymentu:

- Zatrzymać rejestrację w **TwinCAT Scope View** (■) i uruchomić ją na nowo (▶) – zacznie się rejestracja właściwych danych identyfikacyjnych od początku przedziału czasowego.
- W **TwinCAT PLC Control** wymusić nowy skok sterowania. Stara wartość podana na wejście obiektu powinna zostać powiększona o 10% (czyli pomnożona przez 1.1)

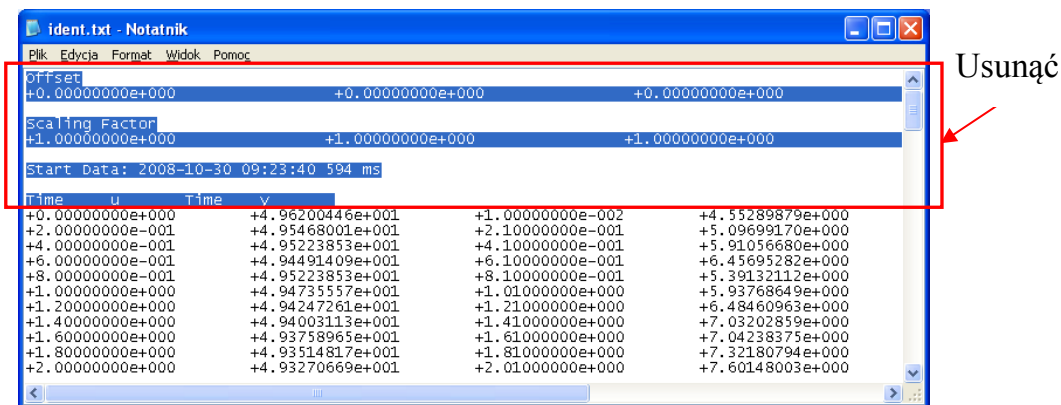
Nową wartość skoku należy wymusić przy pomocy **TwinCAT PLC Control**, w taki sam sposób jak wcześniej wartość odniesienia.

- **TwinCAT Scope View** powinien ponownie zarejestrować skokową zmianę sterowania i zmianę wartości temperatury. Odczekać pełny cykl rejestracji przebiegu, aż do automatycznego zatrzymania rejestracji (**widok okna rejestracji należy dołączyć do sprawozdania!**).
- Po zatrzymaniu rejestracji można przystąpić do kolejnego etapu ćwiczenia. Zapisać przebiegi do pliku tekstowego w celu załadowania ich do programu Matlab. Wykonuje się to, wybierając z menu kontekstowego opcję **Export as ASCII...**



- Plik uzyskany w wyniku eksportu zmodyfikować w następujący sposób:

1. Zmienić rozszerzenie z **.dat** na **.txt**.
2. Usunąć z treści pliku początkowe wiersze informacyjne, pozostawiając tylko kolumny z danymi numerycznymi.



3. Jeżeli ostatnia linijka pliku ma mniejszą liczbę kolumn z danymi niż poprzednie, to należy usunąć tą linijkę, gdyż plik nie zostanie wczytany poprawnie do programu Matlab.

4. Analiza danych w Matlabie

- Wczytanie zarejestrowanych danych w pliku do **Matlaba** sprowadza się do ustawienia katalogu z plikiem jako katalogu roboczego i wykonania instrukcji:

```
data = load('nazwa_pliku.txt'); % podać nazwę pliku
```

```
t = data(:, 1);
```

```
u = data(:, 2);
```

```
y = data(:, 4);
```

- Dalej należy wyświetlić wykres, powinien być zgodny z uzyskanym wcześniej w **TwinCAT Scope View**:

```
plot(t, u, t, y); grid;
```

- Przed przystąpieniem do wyznaczania parametrów transmitancji obiektu, należy przesunąć uzyskane przebiegi identyfikacyjne do początku układu współrzędnych:

```
nStep = min(find(u == max(u)));
```

```
t = t(nStep:length(t)) - t(nStep);
```

```
u = u(nStep:length(u)) - u(1);
```

```
y = y(nStep:length(y)) - y(nStep);
```

- Dla obiektu zastosowany zostanie transmitancyjny model inercyjny pierwszego rzędu z opóźnieniem:

$$G(s) = \frac{k_o}{Ts+1} e^{-s\tau} \quad (1)$$

gdzie: k_o – **wzmocnienie statyczne**, T – **stała czasowa**, τ (**tau**)- **opóźnienie**, są parametrami, których wartości należy zidentyfikować.

- Wzmocnienie statyczne k_o określone jest przez stosunek przyrostu wartości ustalonej wyjścia obiektu do amplitudy wymuszenia skokowego:

```
yMax = y(end)
```

```
ko = yMax / u(1)
```

- Wartości parametrów T oraz τ należy wyznaczyć zgodnie ze wzorami:

$$y(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \rightarrow 0.1 = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \rightarrow t_{10} \approx 0.1T$$

$$0.9 = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \rightarrow t_{90} = 2.3T, t_{90} - t_{10} = 2.2T$$

$$T \approx \frac{t_{90} - t_{10}}{2.2}, \tau = t_{10} - 0.1T \rightarrow \text{należy uzupełnić poniższy fragment skryptu:}$$

```
y10= 0.1*yMax
```

```
n=max(find(y<=y10));
```

```
t10=t(n)
```

```
y90= ...
```

```
n= ...;
```

```
t90= ...
```

```
T= ...
```

```
tau = ...
```

```
if (tau < 2.5)
    tau = 2.5
end
Lo=ko;
Mo=[T 1];
[Lp Mp]=pade(tau,12);
L=conv(Lo,Lp);
M=conv(Mp,Mo);
yTest= u(1)*step(L,M,t);
plot(t,y,t,u,t,yTest); grid;
```

- Jeśli przeprowadzono poprawnie eksperyment oraz obliczenia, powinno uzyskać się dobre dopasowanie wykresów.



Pełny wykres obiektu oraz wykresu aproksymującego (wraz z opisem osi), należy umieścić w sprawozdaniu.

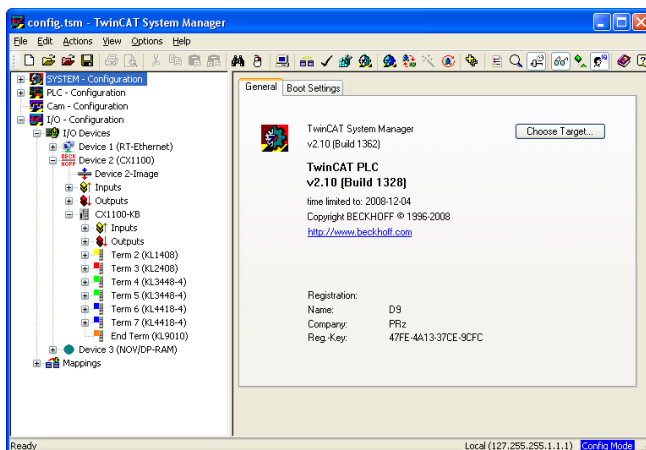
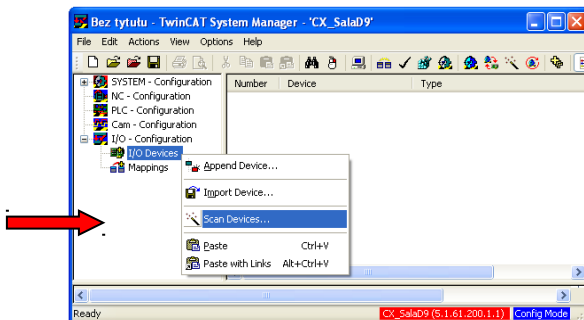
W ten sposób określone zostały wszystkie trzy współczynniki, charakteryzujące model obiektu cieplnego. Na ich podstawie zapisać ostateczną postać transmitancji modelu, podstawiając wyznaczone parametry do wzoru (1), wartości powinny być reprezentowane z dokładnością co najwyżej trzech cyfr znaczących. **Postać transmitancji należy zachować, gdyż będzie wykorzystywana w doborze nastaw regulatora w ramach kolejnego ćwiczenia. Również zadany punkt pracy będzie potrzebny do przeprowadzenia eksperymentu w następnym ćwiczeniu.**

5. Dodatki

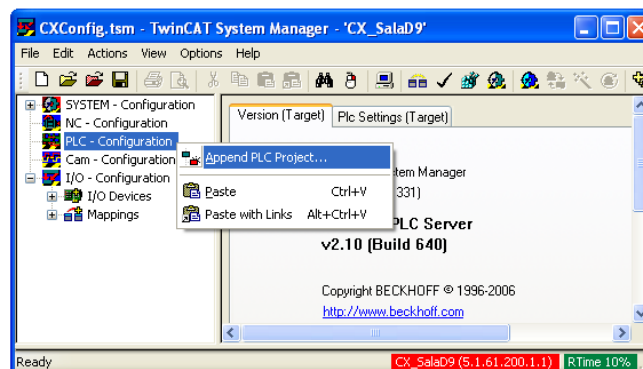
Dodatek A

Przygotowanie projektu w TwinCAT System Manager

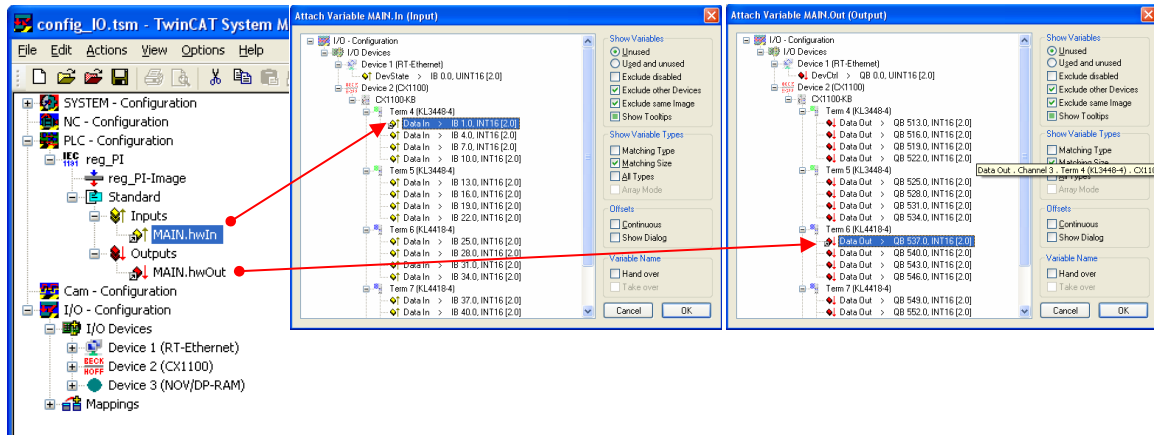
W programie **TwinCAT System Manager** utworzyć nowy projekt. Połączyć się ze sterownikiem CX1000 (**SYSTEM-Configuration** → **Choose Target...**). Uruchomić skanowanie konfiguracji sprzętowej sterownika. Odnalezienie modułów analogowych we/wy powinno zostać odnotowane przez podwójne wpisy KL3448 oraz KL4418.



Wczytać konfigurację (**PLC-configuration**) wygenerowaną dla napisanego programu PLC, wybierając odpowiedni plik *.tpy.



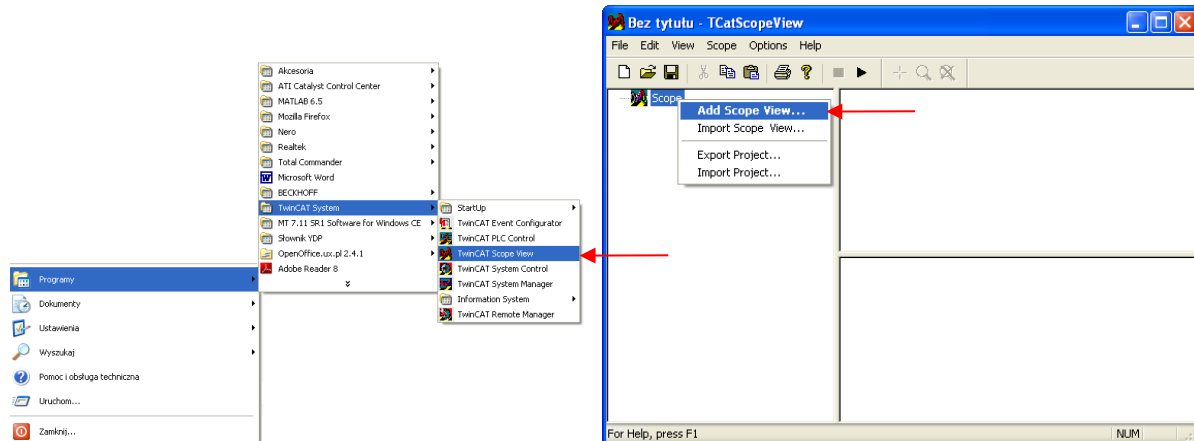
Następnie odpowiednio powiązać adresy zmiennych zadeklarowanych w programie z fizycznymi lokalizacjami przestrzeni obrazu procesu (PLC-configuration → Standard → Inputs/Outputs).



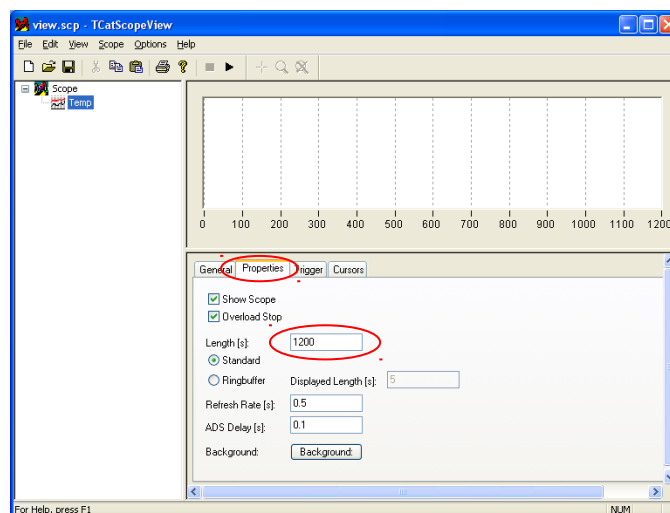
Dodatek B

Przygotowanie obserwacji i rejestracji przebiegów w TwinCAT Scope View

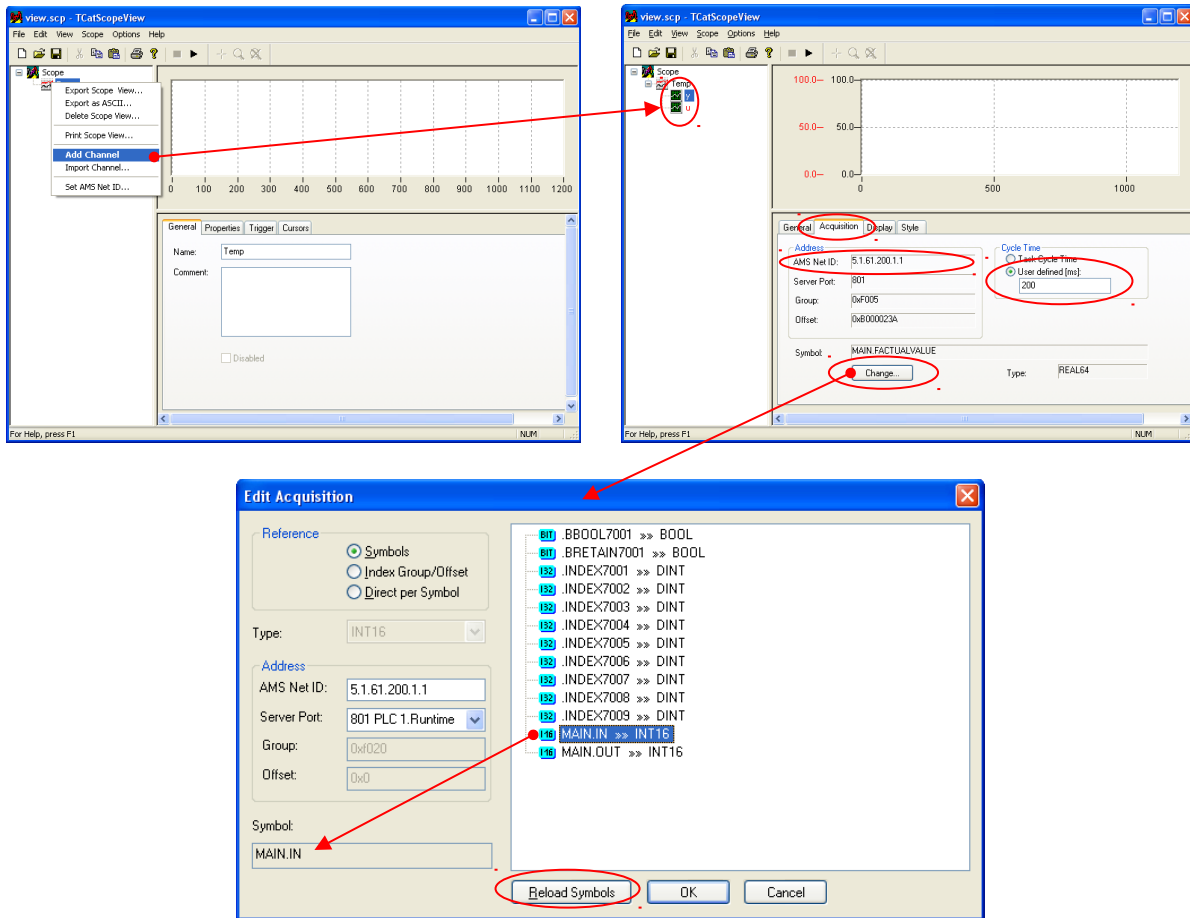
Wizualizację i rejestrację czasowego przebiegu wartości zmiennych procesowych należy zrealizować można przy wykorzystaniu programu **TwinCAT Scope View** z pakietu **TwinCAT System**. Po otwarciu programu, z menu kontekstowego elementu **Scope** (prawy klawisz myszy), należy wybrać **Add Scope View ...**, a następnie podać tytuł tworzonego okna rejestracji, np. **Temp**.



Utworzony zostanie element okna rejestracji o podanej nazwie. W prawym dolnym panelu dostępne są zakładki, umożliwiające konfigurację utworzonego elementu. W zakładce **Properties** czas rejestracji **Length [s]** powinien zostać ustawiony na odpowiednio dużą wartość (np: 1200 s = 20 min.), ze względu na przewidywaną dużą stałą czasową obiektu cieplnego. Pozostałe ustawienia mogą pozostać domyślne.



Menu kontekstowe utworzonego elementu posiada pozycję dodania kanału wizualizacji **Add Channel**. Dodać dwa kanały o nazwach np. **u** i **y**, przeznaczone do rejestracji odpowiednio wejścia (sterowania) i wyjścia obiektu cieplnego. Po wybraniu danego kanału (przez kliknięcie na odpowiadający mu element), w prawym dolnym panelu ukazują się zakładki konfiguracyjne.



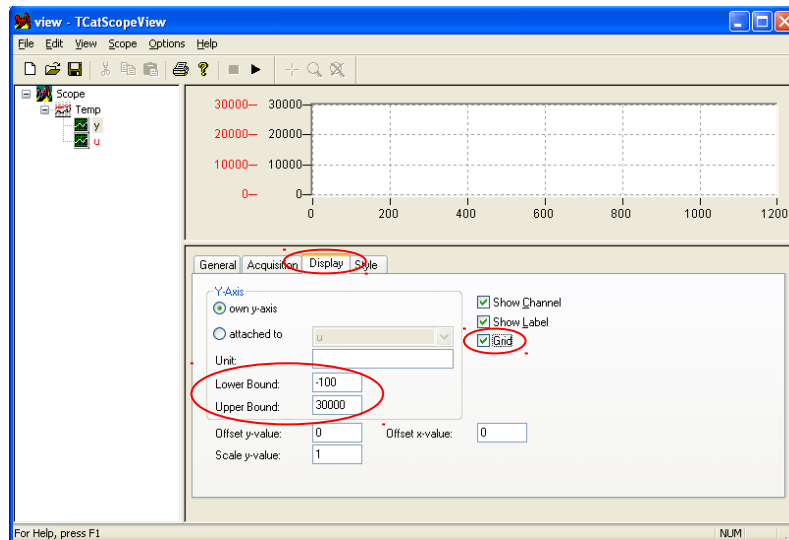
Dla każdego z dwóch kanałów zrealizować opisane niżej czynności konfiguracyjne.

W zakładce **Acquisition**:

- Jako adres **AMS Net ID** sterownika wpisać adres podłączonego sterownika CX1000 (dostępny na dolnym pasku stanu programu **TwinCAT System Manager** lub **TwinCAT PLC Control**).
- Nacisnąć przycisk **Change...**, a w otwartym następnie oknie dialogowym przycisk **Reload Symbols**. Załadowane zostaną nazwy symboliczne zmiennych z pamięci sterownika, które można wybrać do rejestracji w danym kanale, wybrać odpowiednio (np. MAIN.OUT dla kanału *u*, MAIN.IN dla kanału *y*) i wcisnąć przycisk OK.
- W polu **Cycle Time** wybrać **User defined [ms]** i podać **200** – domyślnie proponowany czas cyklu jest za krótki dla badanego obiektu i spowodowałby rejestrację zbyt dużej liczby danych.

W zakładce **Display**:

- Ustawić odpowiedni zakres rejestrowanej wartości tak, aby był on zbliżony do zakresu wartości z przetworników: 0..7FFFh – można wybrać np.: **Lower Bund: -100, Upper Bund: 100**.
- Włączyć wyświetlanie siatki wykresu (pole **Grid**).



W zakładce **Style**:

- Można zmienić kolory linii wykresu dla poszczególnych kanałów (**Pen Color** → **Change...**), przypisując np. kolor czerwony dla kanału sterowania (*u*) i zielony dla wyjścia (*y*).