

Tadeusz Mikulczyński  
Zdzisław Samsonowicz  
Rafał Więclawek  
Roman Wikiera

## ZASTOSOWANIE METOD MTS I GRAFPOL DO PROGRAMOWANIA STEROWNIKÓW PLC NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

*Na przykładzie wybranego procesu technologicznego przedstawiono zastosowanie metod MTS i Grafpol do modelowania procesów dyskretnych oraz do programowania sterowników PLC. Metoda MTS pozwala wyznaczyć równanie schematowe sekwencyjnego układu sterowania, które jest zapisywane jako program użytkownika za pomocą np. języka logiki drabinkowej. Metoda Grafpol pozwala wyznaczyć algorytm sterowania w postaci logicznych zależności przyczynowo-skutkowych, określających warunki realizacji procesu zgodnie z założonym jego przebiegiem. Zależności te mogą być wykorzystywane do zapisu programu użytkownika np. za pomocą standardowego języka ST.*

*Use of the MTS and Grafpol methods for the modelling of discrete processes and the programming of PLC controllers has been illustrated with a selected technological process. The MTS method allows for the determination of the schematic equation of the sequential control system, which is described as a user program, e.g., by means of the ladder logic language. The Grafpol method permits determining the control algorithm in the form of local dependencies that determine conditions for the realization of the process according to its predetermined course. These dependencies may be used for describing the user program, e.g., by means of the standard ST language.*

### 1. WSTĘP

Sterowniki PLC, z uwagi na zasady programowania, można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zalicza się sterowniki (np. Simatic S7-200 firmy Siemens), dla których zapis programu użytkownika jest realizowany za pomocą języka LAD lub STL na podstawie znajomości algorytmu sterowania w postaci równania schematowego klasycznego, sekwencyjnego układu sterowania. Do drugiej grupy należą sterowniki (np. TSX firmy Telemecanique), dla których do zapisu programu użytkownika jest wystarczający algorytm sterowania, który reprezentuje zewnętrzne sygnały układu sterowania, tzn. logiczne zależności przyczynowo-skutkowe, określające warunki realizacji elementarnych etapów procesu.

Metoda MTS (metoda transformacji sieci) [1] [2] pozwala na programowanie sterowników pierwszej grupy. Służy ona do projektowania równania schematowego sekwencyjnego układu sterowania. Równanie schematowe, wyznaczone metodą MTS, reprezentuje algorytm sterowania,

który może być zapisany za pomocą języka schematów przekaźnikowych, tzn. języka logiki drabinkowej.

Metoda Grafpol [3] jest stosowana do programowania sterowników drugiej grupy. Algorytm sterowania, projektowany metodą Grafpol, reprezentuje sieć Grafpol, która przedstawia logiczne zależności przyczynowo-skutkowe realizacji elementarnych etapów procesu. Są one wykorzystywane do programowania sterowników PLC oprogramowanych w standardowym języku ST.

Podstawę obu metod: MTS i Grafpol stanowi jeden uniwersalny algorytm sterowania, który może być wykorzystywany do programowania dowolnego, obecnie produkowanego sterownika PLC.

Zastosowanie metod MTS i Grafpol do modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC zostanie zaprezentowane na przykładzie modelowania i programowania wybranego, dyskretnego procesu technologicznego.

## 2. PROCES WYBIJANIA FORM ODLEWNICZYCH

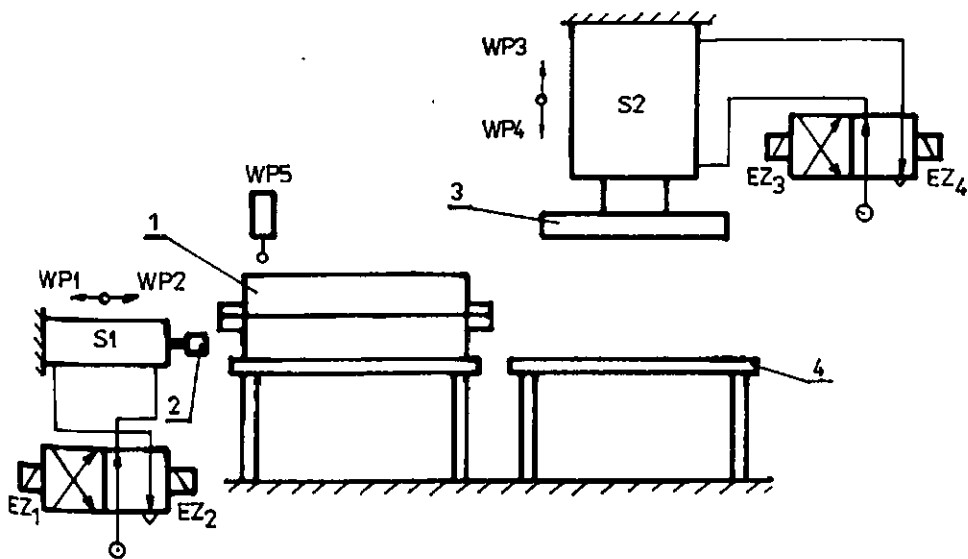
Na rysunku 1 przedstawiono schemat funkcjonalny procesu wybijania form odlewniczych. Opis słowny procesu jest następujący:

Proces stanowi sekwencja następujących etapów elementarnych:

ETAP  $Z_1$ : \* Podanie skrzynki z formą na stanowisko wypychania \*

Realizacja:  $S1^*(EZ_1^*)$

Sygnalizacja: WP2



Rys. 1. Schemat funkcjonalny procesu wybijania form odlewniczych: skrzynka formierska z formą odlewniczą (1), podajnik skrzynek formierskich (2), wypychacz pakietów form (3), stanowisko do wybijania (4).

ETAP  $Z_2$ : \* Wycofanie podajnika \*

Realizacja:  $S1^-(EZ_2^+)$

Sygnalizacja: WP1

ETAP  $Z_3$ : \* Wypchnięcie formy \*

Realizacja:  $S2^+(EZ_3^+)$

Sygnalizacja: WP4

ETAP  $Z_4$ : \* Wycofanie wypychacza \*

Realizacja:  $S2^-(EZ_4^+)$

Sygnalizacja: WP3

Proces jest realizowany cyklicznie.

W opisie słownym procesu zastosowano następujące oznaczenia symboliczne:

$S^+$  – wysuw tłoczyska siłownika,

$S^-$  – wsuw tłoczyska siłownika,

$EZ^+$  – stan prądowy cewki zaworu rozdzielającego,

$EZ^-$  – stan bezprądowy cewki zaworu rozdzielającego,

WP – wskaźnik położenia (np. tłoczyska siłownika).

### 3. ZASTOSOWANIE METODY MTS DO MODELOWANIA I PROGRAMOWANIA PROCESU WYBIJANIA FORM ODLEWNICZYCH

Modelowanie i programowanie metodą MTS dyskretnych procesów produkcyjnych obejmuje następujące etapy:

1. Wyznaczenie schematu funkcjonalnego oraz opisu słownego procesu.
2. Budowa algorytmu procesu – SIECI OPERACYJNEJ.
3. Budowa algorytmu sterowania – SIECI DZIAŁANIA.
4. Wyznaczenie równania schematowego.
5. Zapis równania schematowego za pomocą języka programowania sterownika PLC.

Kolejne etapy programowania metodą MTS sterowników PLC zostaną zilustrowane na przykładzie programowania procesu wybijania form odlewniczych.

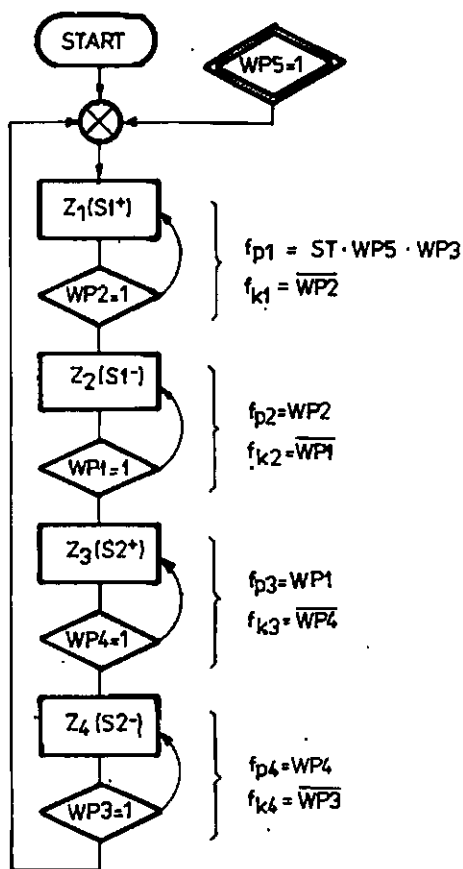
#### 3.1. Algorytm procesu – sieć operacyjna

Algorytm procesu jest budowany na podstawie opisu słownego, który odpowiada schematowi funkcjonalnemu przedstawiającemu proces w stanie początkowym. Reprezentuje go sieć operacyjna, która stanowi graficzno-analityczny model matematyczny algorytmu procesu.

Algorytm procesu wybijania form odlewniczych przedstawiono na rysunku 2. Sieć operacyjna reprezentuje, w sposób graficzny, przebieg procesu oraz precyzuje zależności logiczne ( $f_{pi}$  i  $f_{pi}^*$ ) określające warunki realizacji etapów elementarnych procesu.

#### 3.2. Algorytm sterowania – sieć działania

Algorytm sterowania otrzymuje się w wyniku transformacji algorytmu procesu. Polega ona na odwzorowaniu zbioru etapów procesu zbiorem zmiennych wyjściowych układu sterowania, których sygnały wyjściowe sterują realizacją etapów elementarnych.



Rys. 2. Algorytm procesu wybijania form odlewniczych – sieć operacyjna

Algorytm sterowania procesem wybijania form odlewniczych przedstawiono na rysunku 3a. Reprezentuje go tzw. sieć działania.

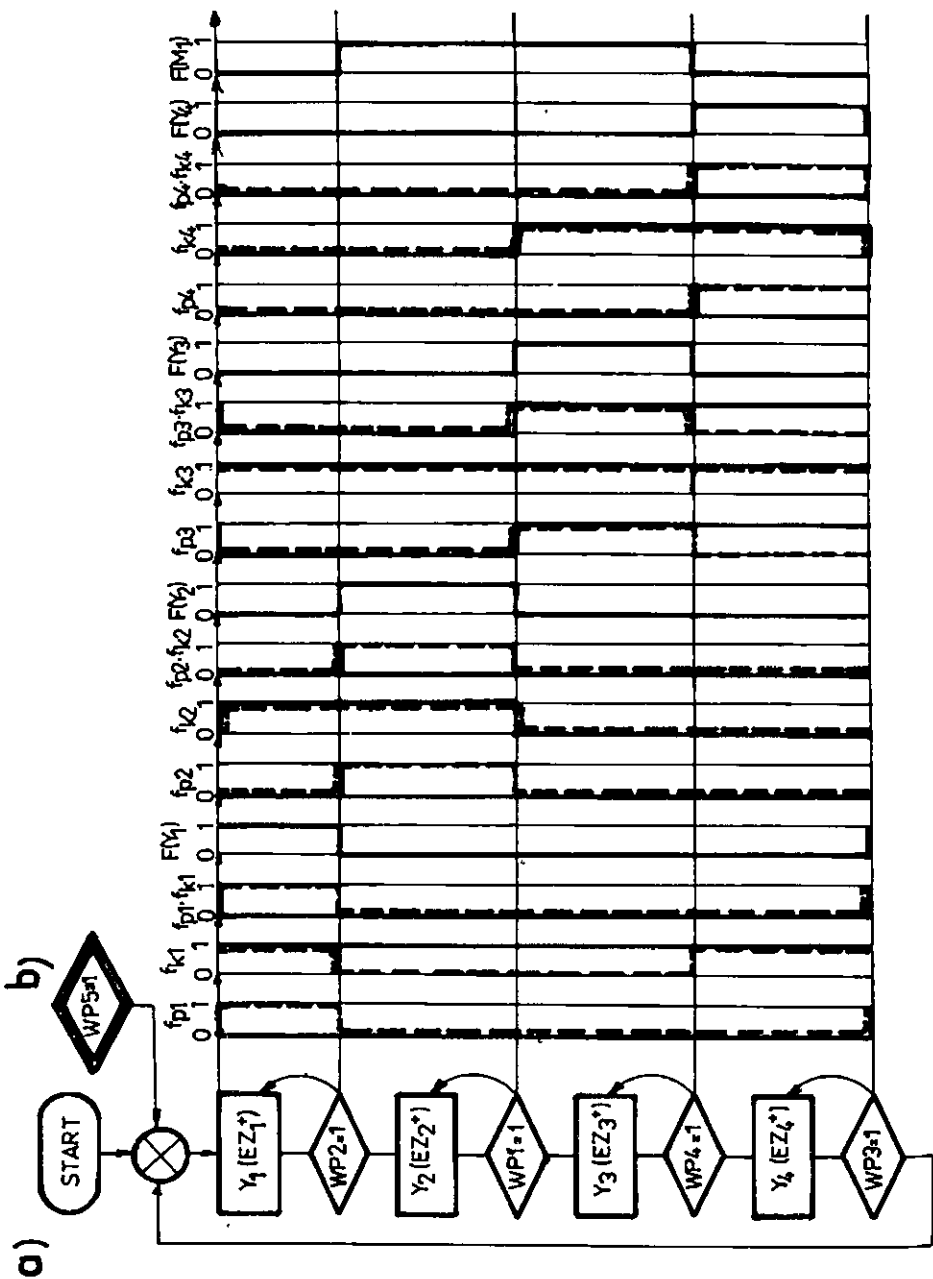
### 3.3. Pamięć układu sterowania

Podstawowym etapem syntezy sekwencyjnych układów sterowania jest realizacja pamięci. Wykonuje się ją na podstawie analizy zależności  $f_{pi}$ ,  $f_{ki}$ ,  $f_{pi}$ ,  $f_{ki}$  oraz  $F(Y_i)$ , które są przedstawiane wykreślnie (rys. 3b) w oparciu o sieć działania (rys. 3a). W wyniku realizacji pamięci można wyznaczyć funkcje wszystkich zmiennych wyjściowych i pomocniczych układu sterowania.

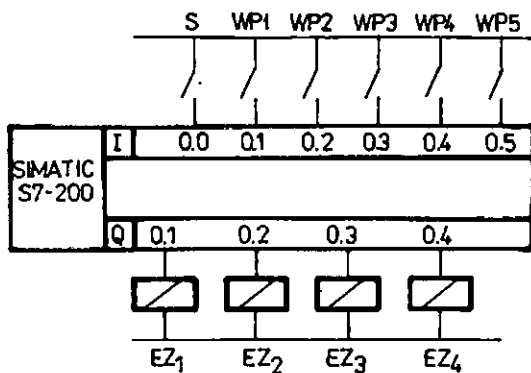
### 3.4. Równanie schematowe układu sterowania

Równanie schematowe stanowi suma funkcji wszystkich zmiennych wyjściowych i pomocniczych układu sterowania.

Równanie schematowe układu sterowania procesem wybijania form odlewniczych ma następującą postać:



Rys. 3. Algorytm sterowania procesem wybijania form odlewniczych: sieć dziańania (a), realizacja pamięci (b)



Rys. 4. Schemat doprowadzenia sygnałów wejściowych i wyprowadzenia sygnałów wyjściowych sterownika Simatic S7-200

$$F(Y, M) = \sum \begin{cases} ST \cdot (WP5 + y_1) \cdot WP3 \cdot \overline{m_1} \cdot Y_1 \\ (WP2 + y_2) \cdot \overline{WP1} \cdot Y_2 \\ WP3 \cdot m_1 \cdot Y_3 \\ (WP4 + y_4) \cdot \overline{WP3} \cdot Y_4 \\ (WP2 + m_1) \cdot \overline{WP4} \cdot M_1 \end{cases}$$

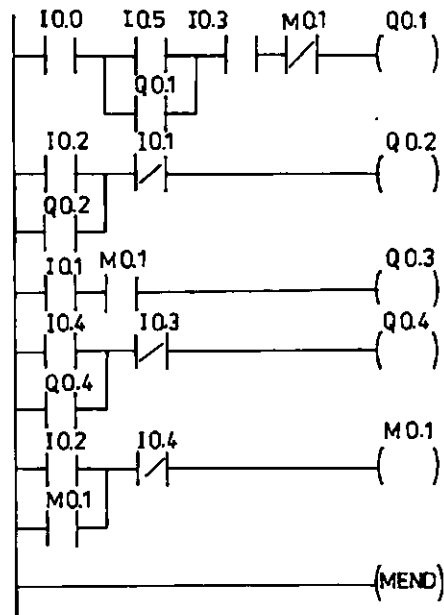
w której:  $Y_1, \dots, Y_4$  – zmienne wyjściowe układu sterowania,  
 $y_1, y_2, y_4$  – sygnały zmiennych wyjściowych,  
 $M_1$  – zmienna pomocnicza,  
 $m_1$  – sygnał zmiennej pomocniczej.

### 3.5. Programowanie sterownika PLC

Równanie schematowe stanowi podstawę do zapisu programu dla sterownika PLC.

W przypadku zastosowania do sterowania procesem sterownika Simatic S7-200, równanie schematowe jest zapisywane za pomocą języka LAD lub STL. Po uwzględnieniu sygnałów wejściowych i wyjściowych sterownika (rys. 4) równanie schematowe przyjmuje postać

$$F(Q, M) = \sum \begin{cases} I0.0 \cdot (I0.5 + Q0.1) \cdot I0.3 \cdot \overline{M0.1} \cdot Q0.1 \\ (I0.2 + Q0.2) \cdot \overline{I0.1} \cdot Q0.2 \\ I0.1 \cdot M0.1 \cdot Q0.3 \\ (I0.4 + Q0.4) \cdot \overline{I0.3} \cdot Q0.4 \\ (I0.2 + M0.1) \cdot \overline{I0.4} \cdot M0.1 \end{cases}$$



Rys. 5. Program sterowania procesem wybijania odlewów

Program sterowania procesem wybijania form odlewniczych, napisany w języku LAD, przedstawiono na rysunku 5.

#### 4. PROGRAMOWANIE METODĄ GRAFPOŁ STEROWNIKÓW PLC

Sieć operacyjna (algorytm procesu) oraz sieć działania (algorytm sterowania) można przedstawić za pomocą innego, równoważnego modelu sieciowego, który autorzy nazwali Grafpol.

Sieci Grafpol – algorytmy: procesu i sterowania – procesu wybijania form odlewniczych pokazano na rysunku 6.

Sieć Grafpol (rys. 6b) reprezentuje WIP (wykaz instrukcji programu), który można wykorzystać do zapisu programu sterownika PLC, np. w języku ST. WIP dla procesu wybijania form odlewniczych, po uwzględnieniu sygnałów wejściowych i wyjściowych PLC (rys. 7), ma następującą postać:

##### Instrukcja I

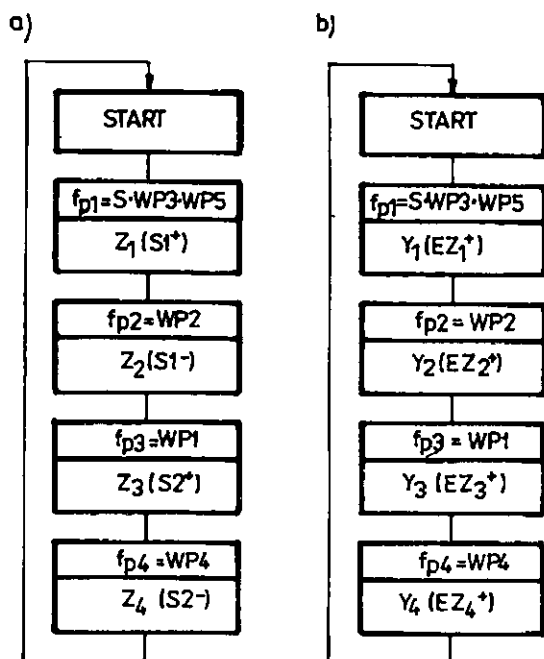
Jeśli  $I 0.0 \cdot I 0.3 \cdot I 0.5$ , to  $Q 0.1 (N)$

##### Instrukcja II

Jeśli  $I 0.2$ , to  $Q 0.2 (N)$

##### Instrukcja III

Jeśli  $I 0.1$ , to  $Q 0.3 (N)$



Rys. 6. Algorytm procesu (a) i sterowania (b) procesem wybijania form odlewniczych.

#### Instrukcja IV

Jeśli I 0.4, to Q 0.4 (N).

Na podstawie WIP-u można napisać, za pomocą języka ST, program sterowania procesem wybijania form odlewniczych. Ma on postać:

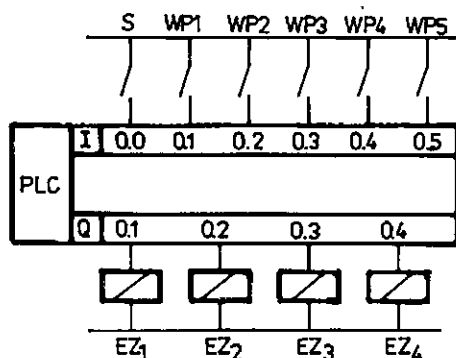
```

INITIAL_STEP START : DONE (N); END_STEP
TRANSITION FROM START TO Z1: = I 0.0 · I 0.3 · I 0.5;
END_TRANSITION
STEP Z1: Q 0.1 (N); END_STEP
TRANSITION FROM Z1 TO Z2: = I 0.2; END_TRANSITION
STEP Z2: Q 0.2 (N); END_STEP
TRANSITION FROM Z2 TO Z3: = I 0.1; END_TRANSITION
STEP Z3: Q 0.3 (N); END_STEP
TRANSITION FROM Z3 TO Z4: = I 0.4; END_TRANSITION
STEP Z4: Q 0.4 (N); END_STEP
TRANSITION FROM Z4 TO START: = I 0.3;
END_TRANSITION
  
```

#### 5. ZAKOŃCZENIE

Podstawę zaprezentowanych metod MTS i Grafpol modelowania i programowania dyskretnych procesów produkcyjnych stanowi jeden uniwersalny algorytm sterowania, który może być stosowany na dowolnym poziomie syntezy sekwencyjnych układów sterowania. Sieć działania lub





Rys. 7. Schemat doprowadzenia sygnałów wejściowych i wyprowadzenia sygnałów wyjściowych PLC

sieć Grafpol może być stosowana do programowania dowolnego, obecnie produkowanego sterownika PLC.

Metoda MTS pozwala wyznaczyć równanie schematowe układu sterowania, które znajduje zastosowanie do programowania sterowników np. za pomocą języka logiki drabinkowej. W przypadku sterownika Simatic S7-200 jest to język LAD.

Podstawową zaletą metody MTS, w stosunku do znanych, klasycznych metod syntezy sekwencyjnych układów sterowania, jest możliwość jej stosowania do syntezy złożonych układów sterowania, niezależnie od liczby zmiennych wejściowych i stanów wewnętrznych tych układów.

Metoda Grafpol pozwala na wyznaczenie algorytmu sterowania (sieć Grafpol), który jest równoważny algorytmowi przyjętemu w metodzie MTS. Może on być stosowany do programowania sterowników, które w swoim oprogramowaniu mają np. język ST przyjęty w normie IEC:1131-3 jako standardowy.

Podstawową zaletą metody Grafpol jest to, że nie wymaga ona modelowania logicznych zależności przyczynowo-skutkowych określających warunki realizacji elementarnych etapów procesu. Wobec powyższego można stwierdzić, że opracowano uniwersalną metodę modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC.

## LITERATURA

- [1] Mikulczyński T., Samsonowicz Z.: *MTS – metoda syntezy sekwencyjnych układów sterowania zautomatyzowanymi procesami technologicznymi*, PAK, nr 10, 1993.
- [2] Mikulczyński T., Samsonowicz Z.: *Zasady realizacji pamięci sekwencyjnych układów sterowania projektowanych metodą MTS*, PAK, nr 11, 1993.
- [3] Mikulczyński T., Samsonowicz Z.: *A mathematical model of discrete manufacturing process control*, Control Eng. Practice, Vol. 4, Nr 9, 1996, s. 1249–1260.