

Roman MIELCAREK

Institut Informatyki
Politechnika Poznańska

ALGORYTMY STEROWANIA PRZEPOMPOWNI I ICH APLIKACJA W KOMPAKTOWYCH STEROWNIKACH PLC FIRMY MITSUBISHI ELECTRIC

CONTROL ALGORITHMS PUMPING AND THEIR APPLICATION
IN COMPACT PLC COMPANY MITSUBISHI ELECTRIC

The paper presents the principle of pump control pumping stations. Are discussed the methods of measuring the level of wastewater in the pumping chamber. The signals from the transducers are level input signals PLC. On this basis, according to a specific algorithm is performed to control the pumps. Discussed in detail pump control algorithm based on the total time of their work. The algorithm as a basis for writing a control program for the controller AL2 and FX. Presented interesting fragments of these programs. At the end of timing diagrams showing the pumps in the system visualization dispatcher.

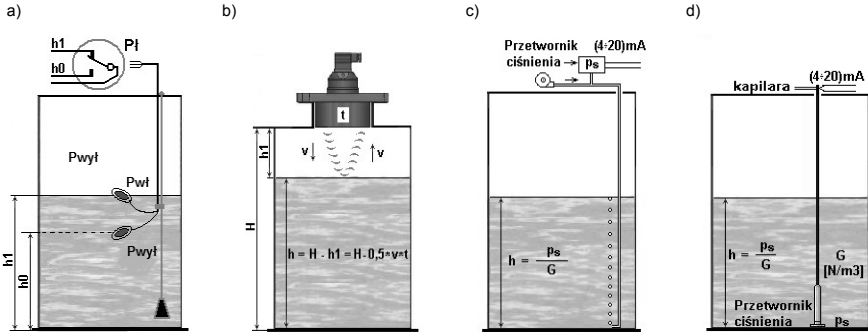
1. Wyposażenie pomiarowe przepompowni

Transport ścieków od źródeł do końcowego punktu, którym jest oczyszczalnia ścieków, odbywa się zazwyczaj poprzez przepompownie ścieków. Są one konieczne wówczas, gdy usytuowanie terenu nie umożliwia realizacji przepływu z tzw. „samościekiem”. Przepompownia satelicka (pierwsza w kolejności tłoczenia ścieków) jest wyposażona zazwyczaj w dwie pompy, natomiast przepompownia zbiorcza, przyjmująca ścieki z przepompowni satelickich, jest najczęściej dwukomorowa, co implikuje jej wyposażenie w dwie pary pomp, po jednej parze dla każdej komory [1]. Istnienie pary komór i pomp wynika z założenia określonego bezpieczeństwa pracy przepompowni. Podstawą sterowania pompami danej przepompowni są informacje z urządzeń pomiarowych poziomu ścieków w studni przepompowni. Stosowanych jest kilka rozwiązań, które pokazano na rys. 1.

Pierwsze z nich (rys. 1a) oparte jest na czujnikach pływakowych (na rysunku pokazano tylko jeden), pozostałe bazują na pomiarze ciśnienia słupa ścieków nad czujnikiem ciśnienia. Sam przetwornik ciśnienia może mieć konfigurowalne poziomy załączenia i wyłączenia definiujące ich histerezę i może generować sygnały binarne (sygnały stanu) tych poziomów. Alternatywą jest tu doprowadzenie sygnału analogowego poziomu do samego sterownika i w nim drogą programową zdefiniowanie określonych poziomów i ich histerezy. Jednym z ciekawszych rozwiązań jest przetwornik ciśnienia powietrza

wpompowywanego ze stałym przepływem na dno komory przepompowni. Takie rozwiązanie pozwala uniknąć agresywnego kontaktu ścieków z samym czujnikiem ciśnienia jak np. w rozwiązaniu z rys.1d.

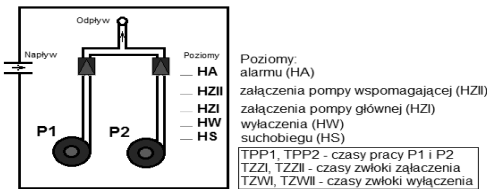
Liczba poziomów sygnalizacyjnych (H) waha się zazwyczaj od 3 do 5.



Rys.1. Metody pomiaru poziomu ścieków w komorze przepompowni: a) pływak, b) ultradźwiękowy przetwornik poziomu, c) przetwornik ciśnienia powietrza (0-20)mA, d) przetwornik ciśnienia słupa ścieków (0-20)mA.

Fig. 1. Methods for measuring the level of sewage pumping chamber: a) float, b) ultrasonic level converter, c) pressure transducer (0-20) mA, d) liquid column pressure transducer (0-20) mA.

Usytuowanie ww. poziomów w rozpatrywanej dalej 2-pompowej przepompowni jak i pozostałych parametrów sterowania pompami przedstawiono na rys.2



Rys.2. Poziomy w komorze przepompowni i pozostałe parametry sterowania pompami

Fig. 2. Levels in the pumping chamber and other parameters pump control

Poziom suchobiegu jest ostatecznym (najniższym) poziomem wyłączenia pomp, z uwagi na fakt, że poziom ścieków nie może spaść poniżej poziomu wysokości pomp, gdyż silnik pompy jest chłodzony otaczającą go cieczą. Z kolei poziom alarmowy jest ostatecznym poziomem załączenia obu pomp jeśli wcześniejsze dwa (PZI i PZII) nie uruchomiły pomp. Poziom ten jest też najczęściej sygnalizowany włączeniem światła pulsującego w zewnętrznej lampie alarmowej. Każdy z tych sygnałów jest też przekazywany zdalnie do systemu wizualizacji dyspozytorskiej o ile taki system istnieje. Z każdą pompą jest związany licznik sumarycznego czasu jej pracy z czasem TPP1 dla

pompy P1 i TPP2 dla pompy P2. Liczniki te są inkrementowane impulsami godzinowymi, gdy pompa pracuje, a określane są z dokładnością minutową. Z włączeniem i wyłączeniem pompy głównej (pierwszej w kolejności) związane są czasy zwłoki załączenia (TZZI) i wyłączenia TZWI) tej pompy. Analogicznie dla pompy wspomagającej (załączonej jako druga) definiowane są czasy TZZII i TZWII. Zwłoki te wynoszą zazwyczaj $10 \div 15$ sekund i są niezbędne dla blokady jednoczesnego włączenia i wyłączenia obu pomp.

2. Algorytmy sterowania pompami

Niezależnie od sposobu pomiaru poziomu w przepompowni, zawsze informacja o poziomie albo jest od źródła prezentowana sygnałami dwustanowymi albo na takie sygnały jest zamieniana, w celu ich określenia jak na rys.2. Również pamięć bitowa o fakcie włączenia danej pompy jako pierwszej może być wykorzystana w algorytmie sterowania przepompowni.

Na podstawie powyższego można by wyszczególnić następujące, alternatywne zasady sterowania pompami, gdy poziom ścieków wzrośnie powyżej poziomu HZI:

- jako pierwsza, włączona zostaje ta pompa, która przepracowała mniejszą liczbę godzin,
- jako pierwsza włączona zostaje ta pompa, która w poprzednim cyklu była włączona jako druga,
- jako pierwsza włączona zostaje ta pompa, która ma zapewnić najbliższą wartość ilorazu $TPP1/TPP2 = k$, w celu zapewnienia większego, stałego w czasie zużycia jednej z pomp, która będzie wymieniana lub serwisowana jako pierwsza.

Pierwsza z tych zasad będzie podstawą algorytmu sterowania pompami i syntezy programu sterującego w sterowniku Alpha XL w i sterowniku FX.

1.1. Sterowniki przepompowni

Na rys.3 przedstawiono sterowniki: AL2 (Alpha XL) oraz FX2N firmy Mitsubishi Electric, które znalazły zastosowanie w sterowaniu pompami przepompowni.



Rys.3. Sterowniki kompaktowe Mitsubishi Electric: AL2 oraz FX2N

Fig. 3. The compact controllers Mitsubishi Electric: AL2 and FX2N

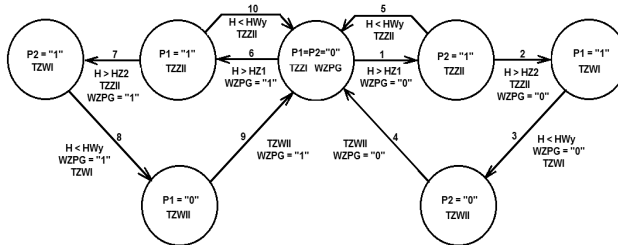
Sterownik AL2 szczególnie nadaje się do sterowania pompownią z uwagi na wbudowany terminal operatorski (ekran z przyciskami), który pozwala prezentować wszystkie parametry procesu sterowania pompami. To jedno z wielu jego możliwych zastosowań zostało przedstawione w pozycji literatury [2, 3]. Również cena takiego sterownika jest dużo korzystniejsza od sterownika FX.

1.2. Sterowanie przepompowni przy pomocy sterownika AL2

Cechą szczególną sposobu programowania sterownika AL2 jest to, że programem jest schemat ideowy urządzenia o zadanej funkcjonalności. Schemat ten buduje się z bloków funkcyjnych (bramki logiczne, przerzutniki, liczniki, układy czasowe, itp.), które są dostępne w pięciu katalogach programu narzędziowego AL-VIs [4].

Wystarczy wybrać odpowiednie bloki, położyć na polu schematu funkcyjnego, połączyć przewodami (wirtualnymi) i można przystąpić do testowania urządzenia włączając tryb symulacji programu. Pozwala to na przetestowanie „programu” z niemal 99% pewnością.

W celu określenia schematu urządzenia do sterowania przepompownią, zostanie przeprowadzona jego synteza na podstawie grafu pracy pomp przepompowni, który przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Graf stanów pracy pomp bazujący na minimalnym czasie pracy pompy

Fig. 4. The graf states pump operation based on the minimum time the pump operation

Graf składa się z 7 stanów, w których środkowy jest stanem wyłączenia obu pomp. Rozgałęzienia w tym grafie bazują na wskaźniku załączenia pompy głównej WZPG, który jest określany w stanie centralnym w momencie wyłączenia ostatniej pompy, wg następującej relacji sumarycznych czasów pracy TPPi:

$$TPP2 < TPP1 \Rightarrow WZPG = „0” \quad \text{oraz} \quad TPP2 \geq TPP1 \Rightarrow WZPG = „1” \quad (1)$$

Dla pętli trzech stanów po prawej stronie grafu pompą główną (pierwszą która jest załączana) jest pompa P2, natomiast dla pętli trzech stanów po lewej stronie grafu pompą główną jest pompa P1. Pi = „1” oznacza załączenie pompy nr „i”. Poszczególne przejścia ponumerowano i uzupełniono o sygnały i ich relacje, które tworzą warunek przejścia do kolejnego stanu. Z grafu wynika, że każde przejście załącza lub wyłącza jedną pompę w danym stanie. Stąd można przyjąć, że każda z pomp reprezentuje w

programie jeden przerzutnik typu RS, a dane przejście określa funkcję logiczną dla wejścia SET (załączenie pompy) i wejścia RESET (wyłączenie pompy). Stąd funkcje wzbudzeń dla tych wejść przyjmują następującą postać:

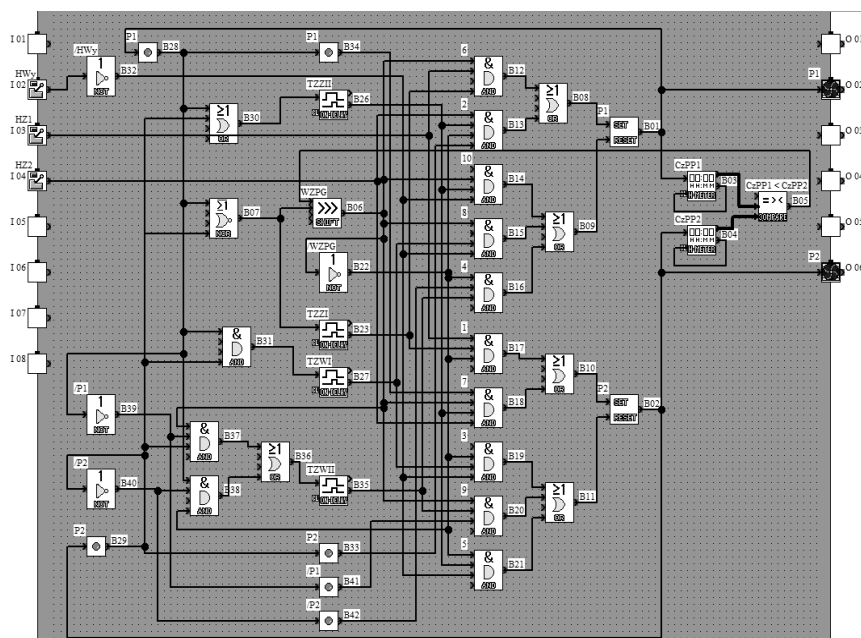
$$SET_{P1} = \underline{WZPG} * \underline{TZZI} * \underline{HZI} + \underline{WZPG} * \underline{TZZII} * \underline{HZII} * P2 \quad |6| \quad (2)$$

$$RST_{P1} = \underline{WZPG} * \underline{TZWI} * \underline{HW} + \underline{WZPG} * \underline{TZZII} * \underline{HW} + \underline{WZPG} * \underline{P2} * \underline{TZWII} \quad |10| \quad (3)$$

$$SET_{P2} = \underline{WZPG} * \underline{TZZI} * \underline{HZI} + \underline{WZPG} * \underline{TZZI} * \underline{HZI} * P1 \quad |1| \quad (4)$$

$$RST_{P2} = \underline{WZPG} * \underline{TZWI} * \underline{HW} + \underline{WZPG} * \underline{TZWII} * \underline{HW} + \underline{WZPG} * \underline{P1} * \underline{TZWII} \quad |3| \quad (5)$$

Symbole „*” i „+” oznaczają iloczyn i sumę logiczną. Zmienne logiczne z podkreśleniem oznaczają zmienne zanegowane. Na podstawie powyższych równań został określony schemat ideowy (program) układu sterowania pompami przepompowni w sterowniku AL2, który przedstawiono rys.5. W schemacie tym, w celu uzyskania większej przejrzystości, nie uwzględniono poziomów: suchobiegu HS i alarmowego HA. Poszczególne bramki AND z numerem reprezentują wieloargumentowe składniki równań (2 ÷ 5) o tych samych numerach |i|.



Rys.5. Schemat ideowy (program w sterowniku AL2) układu sterowania pompami

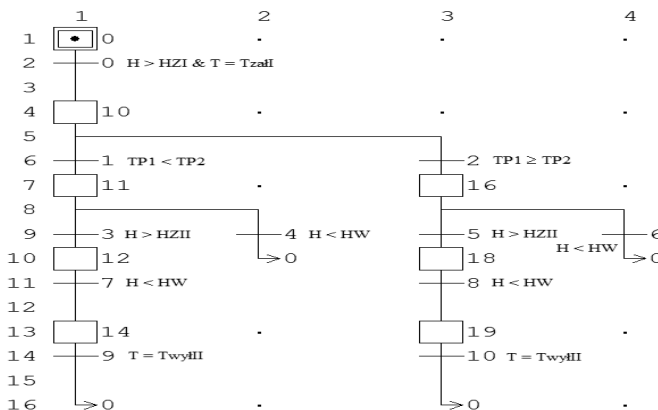
Fig.5. The schematic diagram (the program in the controller AL2) of the pump control

1.3. Sterowanie przepompowni przy pomocy sterownika FX

Rodzina sterowników FX, z których przedstawiciel grupy o symbolu FX2N został zaprezentowany na rys.3b, posiada również grupy sterowników o mniejszych osiągniach i mniejszej możliwości rozbudowy w postaci sterowników o symbolach FX1S i FX1N, które świetnie się nadają do sterowania pompami przepompowni [5]. Ich obecny następcą w postaci sterownika FX3G spełnia z jeszcze większym zapasem wymogi procesu sterowania. Uzupełnienie sterownika serii FX o panel operatorski, pozwala otrzymać strukturę analogiczną jak sterownika Alpha XL z jeszcze większymi możliwościami. Tego typu rozwiązanie stosuje się wówczas, gdy sterownik ma pełnić rolę stacji sieciowej, gdyż sterowniki rodziny FX mają znacznie większe możliwości komunikacyjne niż sterowniki AL2.

Sterowniki FX programuje się najczęściej w języku drabinkowym, który jest bardzo przyjazny każdemu automatykowi, ze względu na swoją genezę wywodzącą się ze sposobu rysowania układów przekaźnikowo-stykowych. W programie narzędziowym, służącym do napisania programu drabinkowego (np. GX-Developer), wprowadzono również możliwość zadeklarowania danego algorytmu w postaci sekwencji stanów funkcyjnych, nazywanym w skrócie SFC (ang. *Sequential Function Chart*) [3, 5]. Programowanie SFC wywodzi się z pierwszego etapu programowania dowolnego procesu, jakim jest narysowanie sieci działań (zwanej potocznie algorytmem) tego procesu.

Programowanie SFC wymaga dekompozycji programowanego procesu na „n” niezależnych stanów, w których realizowana jest określona akcja (np. załączenie jakiegoś wyjścia binarnego, odmierzenie czasu zwłoki, zliczenia określonej liczby zdarzeń, itp.) i określenia warunku przejścia do kolejnego stanu zwanego warunkiem tranzycji. Graf stanów dowolnego procesu jest właśnie tą dekompozycją tego procesu. Programowanie takiego procesu staje się wówczas bardzo łatwe, gdyż każdy je go krok zamyka się w danym stanie o ściśle zdefiniowanej akcji, zazwyczaj bardzo prosto realizowanej programowo. Na rys.4 pokazano schemat SFC dla sterowania przepompownią, bazującym na grafie z rys.4, w którym załączenie pierwszej pompy (pompy głównej) wskazuje mniejsza wartość sumarycznego czasu pracy.



Rys.6. Schemat blokowy SFC programu naprzemiennego sterowania pompy

Fig. 6. The SFC block diagram of program the alternating pump control

Prostokąty na rys.6 przedstawiają kolejne stany, kreski poprzeczne za danym prostokątem są tranzycjami. Pierwszy stan z podwójnym obramowaniem o numerze 0 (możliwy zakres 0 – 9) jest tzw. stanem inicjalizacyjnym (początkowym), definiującym daną sekcję SFC, których może być w sumie 10. Kropka w danym stanie (tu w stanie nr 0) oznacza, że do tego stanu powraca się skokiem z danego punktu schematu (strzałki z numerem 0).

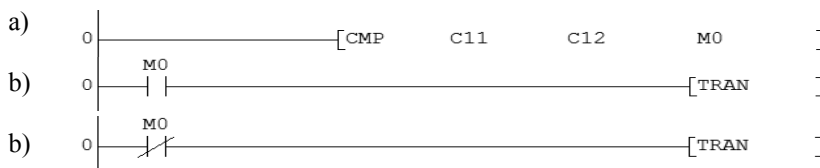
Schemat zawiera dwie gałęzie, z których gałąź lewa odpowiada sytuacji $TP1 < TP2$, czyli pompą główną jest P2. Natomiast gałąź prawa odpowiada sytuacji przeciwnej, w której $TP1 > TP2$, czyli pompą główną jest P1. Narysowany w programie schemat SFC nie zawiera żadnych komentarzy, natomiast ten z rys.6 uzupełniono o komentarze tranzycji, wynikające z opisanych poniżej stanów.

Poszczególne stany określają następujące akcje:

- 1 – wyłączenie obu pomp (P1 i P2) i odmierzenie czasu zwłoki załączenia (TzaII) pompy głównej,
- 10 – określenie relacji czasów pracy obu pomp: TP1 i TP2,
- 11 – załączenie P2 jako pompy głównej i odmierzenie czasu zwłoki załączenia (TzaII) pompy wspomagającej,
- 16 – załączenie P1 jako pompy głównej i odmierzenie czasu zwłoki załączenia (TzaII) pompy wspomagającej,
- 12 – załączenie P1 jako pompy wspomagającej,
- 17 – załączenie P2 jako pompy wspomagającej,
- 14, 19 – wyłączenie pompy głównej i odmierzenie czasu zwłoki wyłączenia (TwyII) pompy wspomagającej.

Niezbędne do realizacji powyższego algorytmu sumaryczne czasy pracy pomp (TP1 i TP2) są aktualizowane w programie głównym, gdy załączona zostaje dana pompa.

W celu pokazania jak proste są zapisy programowe stanów i tranzycji, na rys.7 przedstawiono instrukcje stanu 10 i tranzycji 1 i 2.



Rys.7. Instrukcje sterownika tworzące: a) stan nr 10, b) tranzycję nr 1, c) tranzycję nr 2

Fig. 7. The controller instructions forming : a) the state No. 10, b) the transitions No. 1, c) the transitions No. 2

Instrukcja porównania CMP porównuje liczniki sumarycznych czasów pracy pompy P1 – C11 i pompy P2 – C12. Wartości logiczne relacji porównania (<, =, >) są wpisywane do trzech kolejnych markerów M0 – M2. Marker M0 = „1” gdy $C11 < C2$, czyli typowana do załączenia jest pompa P1. Stan M0 = „0” wskazuje pompę P2.

3. Zakończenie

Przedstawione wyżej rozwiązania sterowania pompami 2-pompowej przepompowni, zastosowano do sterowania pompowni 4-pompowej. Z pierwotnej zastosowanej wersji bazującej na sterowniku FX0N w trakcie modernizacji przepompowni zastosowano sterownik AL2 z programem analogicznym jak na rys.5 dla każdej pary pomp. Ta zmiana podyktowana była przede wszystkim znacznie mniejszym kosztem zastosowanego sprzętu ze znacznie większymi możliwościami wizualizacji stanu procesu pompowania, brakiem konieczności zastosowania szybkiego sterownika z uwagi na to, że obsługiwany proces jest o bardzo małej dynamice, a przede wszystkim na brak komunikacji sieciowej z centrum dyspozytorskim.

Przepompownia jest jednak monitorowana w centrum dyspozytorskim mieszczącym się w oczyszczalni ścieków. Realizuje to niezależny system sieciowy, który pozwala na wizualizację stanu pomp i poziomu ścieków w zbiorniku przepompowni. Na rys.8 pokazano zrzut obrazu stanu pracy pomp z programu nadzoru dyspozytorskiego.



Rys.8. Obraz pracy pomp na ekranie monitora dyspozytorskiego

Fig. 8. The image of the pumps on the screen dispatching

Wykresy te są potwierdzeniem przyjętego algorytmu pracy przepompowni bazującym na sumarycznym czasie pracy pomp. Po stronie lewej obrazu jest uwidoczniona sytuacja w której napływ ścieków jest mały i kolejna pompa jest włączana wówczas, gdy czas jej pracy stanie się mniejszy od poprzedniej. Po prawej stronie obrazu jest uwidoczniona sytuacja, w której napływ ścieków jest większy, przez co załączona zostaje pompa wspomagająca (P4) lub czas załączenia pompy głównej (P1) trwa znacznie dłużej od czasów jej poprzednich załączeń.

Bibliografia

- [1] Mielcarek R.: OPTYMALIZACJA KOSZTÓW PRZEPOMPOWNI ŚCIEKÓW. Prace XXI MKNT pt.: Zaopatrzenie w Wodę, Jakość i Ochrona Wód” - „Water Supply and Water Quality”. Kołobrzeg 2010.
- [2] Mielcarek R.: STEROWNIK ALPHA MITSUBISHI ELECRIC W LOKALNEJ I ZDALNEJ KONTROLI I STEROWANIU. Praca zbiorowa pod redakcją Zb. Huzara i Zg. Mazura: Systemy Czasu Rzeczywistego – Metody i zastosowania. Rozdz. 40. WKŁ 2007
- [3] Mielcarek R.: PROGRAMOWANIE STEROWNIKÓW PLC - Przewodnik do ćwiczeń laboratoryjnych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2012.
- [4] Mitsubishi Electric: STEROWNIK LOGICNY AL2. Podręcznik oprogramowania narzędziowego. 2002.
- [5] Mitsubishi Electric: FX1S, FX1N, FX2N(C) - PROGRAMING MANUAL. 2003.

