

Roman MIELCAREK

INSTYTUT INFORMATYKI
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

UKŁADY, METODY I POZIOMYZWIĘKSZENIA PEWNOŚCI STEROWANIA DWUSTANOWEGOW SYSTEMIE ZDALNEGO STEROWANIA

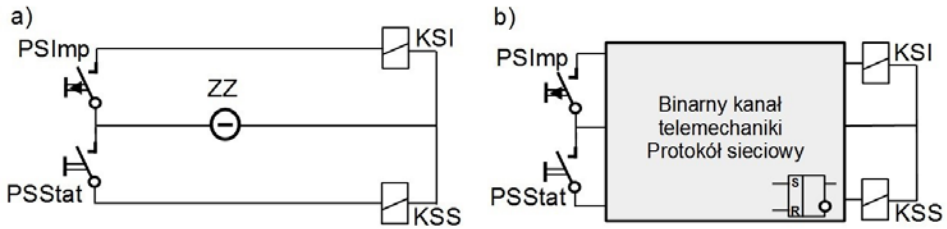
CIRCUIT, METHODS AND LEVELS INCREASE CONFIDENCE
DIGITAL CONTROL IN REMOTE CONTROL SYSTEM

The paper discusses the issue of the reliability of digital control in a remote control system. It is considered at levels of a control signal source, control command transmission through the transmission channel and at a level of Objects Station. Solutions for single-phase pulse control and two-phase matrix-type control for objects with multiple controlled devices are presented.

1. Sterowanie dwustanowe

Pod pojęciem sterowania dwustanowego rozumie się zamierzoną zmianę stanu dwustanowego urządzenia obiektu technologicznego (pomp, wentylatorów, wyłączników zasilania, itp.). Ponieważ przeważająca większość urządzeń obiektowych procesów technologicznych jest typu dwustanowego, stąd też sterowanie dwustanowe jest najczęstszym typem sterowań w Systemie Zdalnego Sterowania – Systemie Telemechaniki. Źródłem sygnału sterującego jest przycisk lub przełącznik w postaci sprzętowej lub ekranowej, w zależności od miejsca jego usytuowania: pulpit sterowania, ekran terminala operatorskiego lub komputera. Celem sygnału sterowania dwustanowego jest zazwyczaj przełącznik, znajdujący się na sterowanym obiekcie, z którego dopiero dalej jest przenoszona informacja o sterowaniu. Dlatego też w zależności od źródła informacji sterującej i złożoności układu sterowania wyróżnić można sterowania lokalne lub zdalne w postaci statycznej (przełącznik) lub impulsowej (przycisk). Zobrazowano to na rys.1.

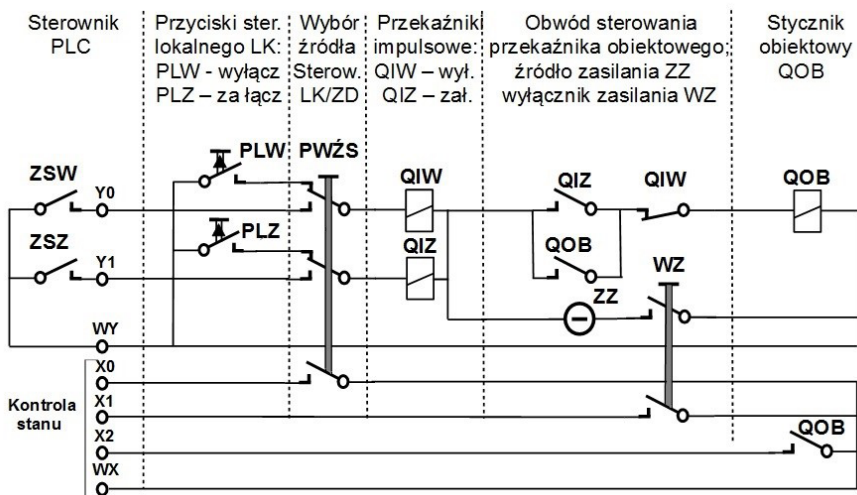
Wyjściowy układ sterowania w Stacji Obiektowej (SO) Systemu Telemechaniki (ST) pobudza przełącznik sterowania impulsowego KSI przez krótki czas (np. 1s) przekazując swoim zestykiem stan pobudzenia do dalszej części układu sterowania, który zawiera pamięć stanu załączenia/wyłączenia. Tego typu sterowanie dotyczy zazwyczaj bardziej odpowiedzialnym sterowaniom obiektowym typu urządzenia o dużej mocy (np. pompy, wentylatory, wyłączniki sieciowe, itp.). Natomiast przełącznik sterowania statycznego KSS zachowuje swój stan dzięki pamięci w w.w. układzie wyjściowym, którym jest przerzutnik typu RS lub D. Sterowanie statyczne przyporządkowane jest zazwyczaj urządzeniom o małej odpowiedzialności funkcjonalnej(np. klimatyzacja szafy sterowniczej, odblokowanie układów kontrolnych, itp.).



Rys.1. Układy a) bezpośredniego, b) zdalnego dwustanowego sterowania statycznego i impulsowego

Fig.1. Layouts of: a) direct b) remote binary static and pulse control

O ile sterowanie statyczne może być wykonywane bezpośrednio z przełącznika KSS, o tyle sterowanie impulsowe musi mieć swój dalszy układ korzystający ze stanu zestyków przełączników impulsowych KSI. Układ ten przedstawiono na rys.2, bez obwodów urządzeń obiektowych z niego sterowanych.



Rys.2. Układ impulsowego sterowania przełącznika obiektowego i kontroli jego stanu

Fig.2. Layout of an object relay pulse control and of monitoring its state

Celem układu z rys.2 jest możliwość załączenia lub wyłączenia przekaźnika obiektowego QOB, którego zestyk (zestyki w przypadku stycznika) załączają urządzenie obiektowe. Przekazniki impulsowe QIW i QIZ, sterowane z wyjść np. sterownika PLC: ZSW – wyłącz, ZSZ - załącz, poprzez swoje zestyki w obiektowym układzie sterowania ustawiają w żądany stan przekaźnik obiektowy QOB. Przekazniki te mogą być również sterowane z lokalnych przycisków sterujących PLW i PLZ po zmianie źródła sygnałów sterowania przełącznikiem PWŻS. W przypadku prac serwisowych z danym obiektem sterowania jest możliwość wyłączenia jego sterowania wyłącznikiem zasilania WZ.

Drugą, bardzo istotną częścią układu sterowania obiektowego jest układ kontroli stanu jego pamięci, za pomocą którego przekazywany jest on w słowie sygnalizacyjnym (słowie stanu) ze stacji obiektowej SO do stacji centralnej SC (stacji dyspozytorskiej) ST.

2. Radiotelefoniczny System Telemechaniki RST

Opracowany na początku lat 90 Radiotelefoniczny System Telemechaniki RST doczekał się kilku instalacji obiektowych, z których największa znajduje się w PWiK w Gliwicach. System ten bazował na specjalnie opracowanym dla tego systemu protokole transmisji radiowej o symbolu PTR. W protokole tym szczególną uwagę zwrócono na zabezpieczenie nadmiarowe adresu stacji i przesyłanych danych. Generalnie w protokole tym wyróżniono 8 typów ramek, z których trzy dedykowane były sterowaniu. Na rys.3a przedstawiono ogólną składnię ramki, na rys. 3b przedstawiono ramkę sterownia impulsowego a na rys.3c określono kody typów ramek protokołu.

a)

Ogólna postać ramki protokołu PTR		
Sekcja	Bajty ramki	Charakterystyka
Sekcja funkcyjno-adresowa SFA	(1+k)*BST	Bajty startu ramki
	BFA	Bajt funk.-adresowy
	NFA1	Nadmiar funk.-adres.: Bajt starszy i młodszy
	NFA0	
Sekcja danych ramki SDR	Blok danych	Liczba i sens bajtów zależy od BFA
	NBD1	Nadmiar bloku danych: Bajt starszy i młodszy
	NBDO	
	BSP	Bajt stopu

b)

Ramka sterowania impulsowego	
Bajty ramki	Charakterystyka
(1+k)*BST	Bajty startu ramki
010AAAAA	AAAAA – adres SO
NFA1	Nadmiar funk.-adres.: Bajt starszy i młodszy
NFA0	
XXXXXXXX	X... X - bajt numeru sterowania
NBD1	Nadmiar bloku danych: Bajt starszy i młodszy
NBDO	
BSP	Bajt stopu

c)

Funkcje protokołu transmisji radiowej PTR			
Lp.	Nr funkcji	Rozkaz: SC → SO	Odpowiedź: SO → SC
1	000	Prześlij stan bezwarunkowo	Stan obiektu
2	001	Prześlij stan warunkowo	Stan obiektu lub znacznik potwierdzenia ZP
3	010	Steruj impulsowo	Stan obiektu lub znacznik potwierdzenia ZP
4	011	Steruj statycznie bitem	Stan obiektu lub znacznik potwierdzenia ZP
5	100	Steruj statycznie słowem	Stan obiektu lub znacznik potwierdzenia ZP
6	101	Prześlij blok zdarzeń	Kolejny blok zdarzeń
7	110	Powtórz poprzedni blok zdarzeń	Ostatnio nadany blok zdarzeń
8	111	Zeruj bufor zdarzeń	ZP

Rys.3. Protokół transmisji radiowej PTR: a) schemat ogólny ramki, b) ramka sterowania impulsowego, c) funkcje ramek

Fig. 3. Radio transmission protocol PTR: a) general scheme of a frame, b) pulse control frame, c) frames functions

Z uwagi na stosowaną w RST transmisję radiową do zabezpieczenia przekazywanych danych w protokole zastosowano kodowanie nadmiarowe typu wielomianowego o wielomianie generującym $g(x)$ przedstawionym na rys.4.

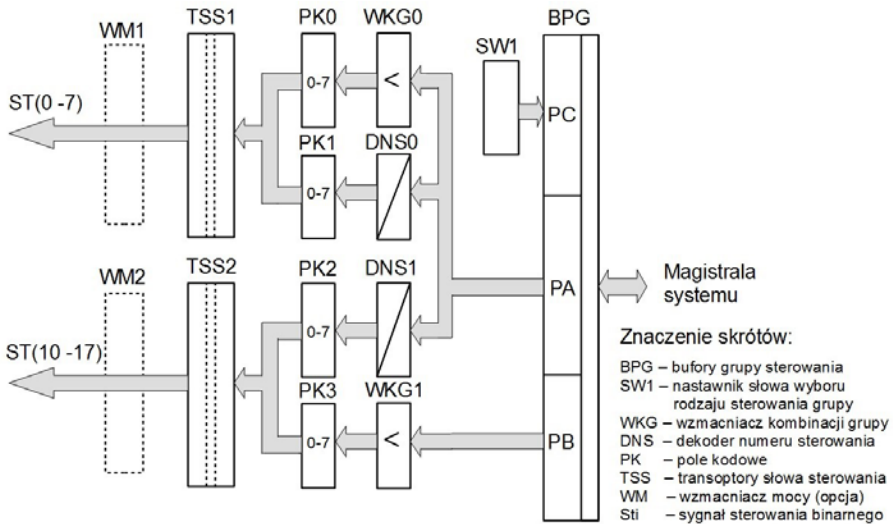
$$g(x) = x^{16} \oplus x^{14} \oplus x^{13} \oplus x^{12} \oplus x^{11} \oplus x^{10} \oplus x^8 \oplus x^6 \oplus x^5 \oplus 1$$

Rys.4. Wielomian generujący $g(x)$ zabezpieczenia nadmiarowego protokołu PTR
 Fig.4. The generator polynomial $g(x)$ of security redundancy in protocol PTR

Cechą szczególną tego wielomianu jest to, że dla kodu typu (24,8) z 8-bitowym słowem danych (np. BFA), uzyskuje się minimalną odległość Hamminga $d = 8$, co pozwala zawsze na wykrycie do 7 niezależnych błędów (przekłamanych pozycji) w odebranym słowie kodowym. Dla słowa 16 bitowego wartość $d = 6$.

2.1. Moduł wyjść dwustanowych

Zaprojektowany dla systemu RST moduł wyjść dwustanowych (WD16) pozwalał na wygenerowanie 16 sterujących sygnałów dwustanowych. Jego schemat blokowy przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Schemat blokowy modułu sterowania dwustanowego systemu RST
 Fig. 5. The block diagram of a binary control module in system RST

Pamięć modułu WD16 oparto na 3-bajtowym porcie równoległym 8255 (BPG). Port C służył do konfiguracji bloku za pomocą nastawnika suwakowego. Pozostałe porty przesyłały dwa bajty sterujące, które mogły być wykorzystane jako statyczne (WKGi, PKj, TSSk) lub impulsowe (DNSi, PKI, TSSk). W przypadku wykorzystania portu jako impulsowego, pierwsze trzy bity słowa numeru sterowania są dekodowane (zamiana na kod 1 z 8) w dekodernumeru sterowania DNSj, przez co tylko jeden ze sygnałów sterujących STx jest w stanie aktywnym, pobudzając przełącznik impulsowy (KIW lub KIZ) w obiektowym układzie sterowania (rys.2). Obwody sygnałów sterowania STx wymagały obiektowego napięcia zasilania z uwagi na separację galwaniczną realizowaną przez transoptory TSSk. W przypadku, gdy sterowany obwód obiektowy wymagał większego prądu sterującego, na płycie modułu WD16 montowane były wzmacniacze mocy WMk.

3. Warianty sterowania dwustanowego

W zależności od następujących czynników:

- wymaganej pewności telesterowania,
- znaczenia sterowanego obiektu,
- skutków błędnego telesterowania

wyróżnić można następujące warianty telesterowania:

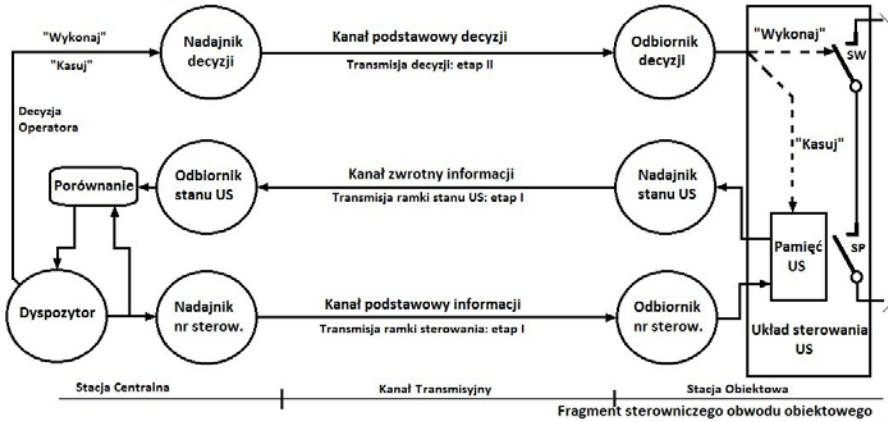
- sterowanie impulsowe (SI) bezpośrednie (natychmiastowe),
- sterowanie impulsowe etapowe (z potwierdzeniem).

Zainicjowanie bezpośredniego SI powoduje bezzwłoczne jego wykonania na obiekcie, po stwierdzeniu bezbłędności odbioru sterowniczej ramki transmisyjnej. Podstawowym zabezpieczeniem pewności tego wariantu telesterowania jest stosowany kod nadmiarowy (rys.4), chroniący dane sterownicze (numer sterowania) w sterowniczej ramce transmisyjnej (rys.3b). Układ sterowania, który może realizować ten wariant sterowania, to układ modułu WD (rys.5). Zaletą tego układu jest jego mała złożoność układowa; wadą – natychmiastowa reakcja (aktywacja wyjścia STx modułu) na większość kombinacji zakłóceń wpisanych do portu sterującego. Poważnym problemem jest również zapewnienie stanu wyłączenia kluczy sterujących w momencie włączenia napięcia zasilania modułu. Mimo to, tego rodzaju SI jest powszechnie stosowane do sterowania pomp obiektów wodociągowych.

Wszystkich tych niedogodności można uniknąć stosując etapowe sterowanie impulsowe. Uzyskuje się to kosztem większej złożoności, wprowadzonej zarówno w warstwę transmisyjną jak i układową. W swej najprostszej i najczęściej stosowanej wersji, to SI składa się z dwóch etapów:

- **etapu przygotowania** sterowniczego obwodu obiektowego dla wybranego obiektu,
- **etapu decyzyjnego** w postaci:
 - „**Wykonaj**” zamknięcie sterowniczego obwodu obiektowego (przekazanie sterowania na obiekt),
 - „**Skasuj**” pamięć etapu przygotowania.

Idea działania etapowego SI wywodzi się ze struktur systemów transmisji danych z informacyjnym sprzężeniem zwrotnym i kanałem decyzji. Strukturę i wynikającą z niej zasadę działania takiego systemu przedstawiono na rys.6.



Rys.6. Schemat blokowy systemu transmisji sterowania dwuetapowego
Fig. 6. Block diagram transmission system of a two-phase control

Etapy telesterowania wywodzą się z wprowadzonego podziału na dwie części fragmentu sterowniczego obwodu sterowania znajdującego się w układzie sterowania (US) stacji obiektowej. Pierwsza część to układ przygotowania (wyboru) obiektu sterowania, druga to układ wykonania sterownia. Każdy z tych układów reprezentowany jest na rys. 6 przez pojedynczy zestyk SP przełącznika przygotowania sterowania i zestyk SW wykonania sterowania. Zamknięcie tych dwóch zestyków powoduje przekazanie sterowania na adresowany obiekt.

Proces sterowania przez operatora rozpoczyna się od wyboru obiektu sterowania i jego zainicjowania. Odpowiedź systemu dla operatora to informacja, jaki obiekt został wybrany. Operator na podstawie tej informacji podejmuje decyzję wysyłając rozkaz „Wykonaj”, jeśli potwierdzenie wyboru obiektu jest poprawne, lub wysyła rozkaz „Kasuj” w przypadku przeciwnym.

4. Układ sterowania matrycowego

Od technicznego rozwiązania US, działającego w oparciu o dwuetapowe SI, wymaga się posiadania dodatkowych cech w postaci:

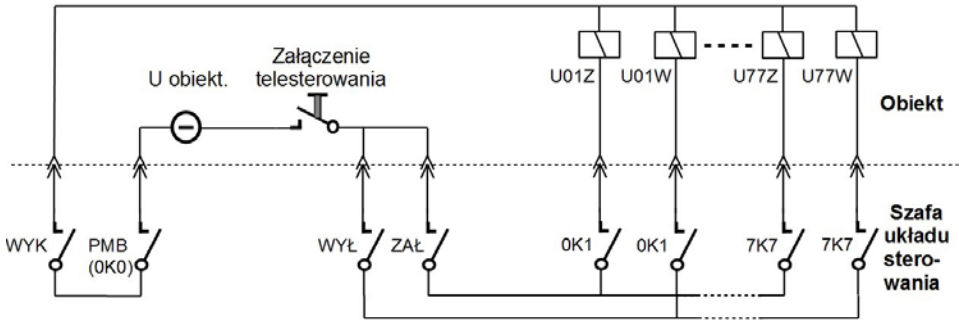
- przeprowadzenia autotestu swojej sprawności bez przekazania sterowania na obiekt,
- blokady możliwości zmiany stanu pamięci numeru sterowania w US po jej zapisaniu,
- możliwości przeprowadzenia test lokalnego przez obsługę serwisową.

Realizacja sterowania prze USM wymaga wykonania następujących kroków:

- 0 – krok załączenia przełącznika kasowania pamięci USM – sygnał KAS,
- 1 – krok zwolnienia wszystkich kluczy sterujących USM,
- 2 – krok wysłania współrzędnej X (w kodzie 1 z 8) – sygnały X0/Y0 – X7/Y7,
- 3 – krok wysłania kierunku sterowania załącz/wyłącz – sygnał ZAŁ lub WYŁ,
- 4 – krok wysłania współrzędnej Y (w kodzie 1 z 8) – sygnały X0/Y0 – X7/Y7,
- 5 – krok wysłania rozkazu II etapu sterowania: wykonania sterowania – sygnał WYK lub skasowania pamięci I etapu sterowania – sygnał KAS.

Wyżej wymienione kroki zostają wykonane autonomicznie dla współrzędnych X0-Y0 przed każdym sterowaniem obiektowym, które to współrzędne są adresem PMB i załączają go, po czym są wykonywane kroki 1 – 5 dla współrzędnych sterowania obiektowego.

Na rys.8 pokazano obiektowe obwody sterowania matrycowego z zaznaczeniem podziału elementów USM znajdujących się w szafce SO oraz obiektowych przełączników impulsowych kierunku sterowania załącz UxyZ i wyłącz UxyW.



Rys. 8. Obwody obiektowe sterowania matrycowego
Fig. 8. The object circuits of matrix control

USM został wykonany fizycznie do sterowania modelu rozdzielni energetycznej a widok elewacji płyty USM przedstawia zdjęcie na rys.9.



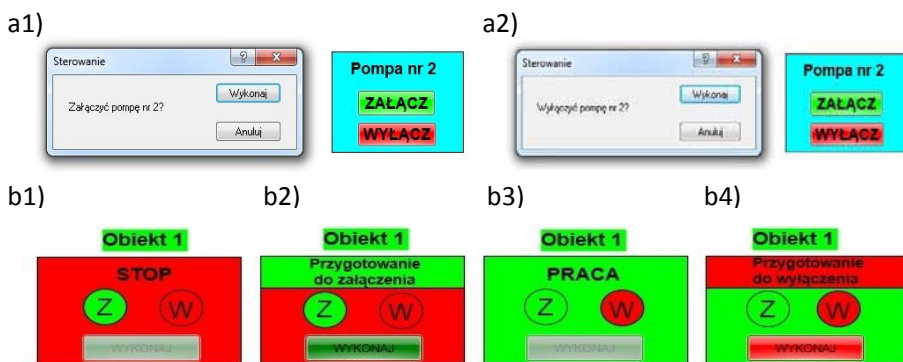
Rys. 9. Widok płyty sterowania matrycowego
 Fig. 9. View of the matrix control board

5. Proces sterowania w Stacji Dyspozytorskiej

Również po stronie Stacji Dyspozytorskiej można zwiększyć pewność sterowania, stosując w aplikacji dyspozytorskiej (system SCADA lub terminal operatorski) specjalne procedury potwierdzenia zainicjowanego sterowania. Problem sprowadza się zawsze do uniemożliwienia przypadkowo lub omyłkowo zainicjowanego sterowania, aby nie zostało ono wysłane do SO. Ma to szczególne znaczenie, gdy zainicjowane sterowanie jest natychmiast wykonywane, czyli jest przekazane do sterowanego obiektu.

Na rys. 10 pokazano dwa warianty przykładowego rozwiązania przycisków sterowania na ekranie aplikacji dyspozytorskiej w systemie TelWin. Przykład z rys 10a przedstawia jednoetapowe sterowanie pompy, ale z żądaniem potwierdzenia zamierzonej zmiany stanu pompy w okienku potwierdzenia, które pojawia się po naciśnięciu przycisku ekranowego ZAŁĄCZ (rys. 10a1) lub WYŁĄCZ (rys. 10a2). Jeśli zainicjowaną procedurę należy odwołać, to wystarczy kliknąć myszką na przycisku kasowania (krzyżyk) lub nacisnąć klawisz ESC.

Przykłady stanu przycisków sterujących dla sterowania dwuetapowego przedstawia rys. 10b(1-4). Stan wyłączenia sterowanego OBIEKTU odzwierciedla kolor czerwony i tekst stanu obiektu na ikonie sterowania, kolor zielony odpowiada stanowi załączenia. Stan wyłączenia obiektu przedstawia rys. 10b1. Kliknąwszy na przycisku załączenia (kółko z literą Z) następuje wysłanie sterowania do SO, zapisanie pamięci załącz w układzie sterowania US wybranego obiektu. Stanowi to przygotowanie US do załączenia wyjścia sterującego danego obiektu oraz powrót w słowie sygnalizacyjnym odpowiedzi SO stanu przygotowania danego obiektu do załączenia. To potwierdzenie powoduje zmianę ikony sterowania tego obiektu na tę z rys. 10b2 i uaktywnienie przycisku ekranowego „WYKONAJ”. Po naciśnięciu przycisku WYKONAJ wysłany zostaje rozkaz wykonania sterowania etapu drugiego. Zestyk przekaznika wykonaj w iloczynnie logicznym z zestykiem pamięci załącz wybranego obiektu (rys.6) powoduje przekazanie sterowania na obiekt i jego załączenie. Bit stanu w słowie sygnalizacyjnym o załączonym obiekcie powoduje zmianę stanu ikony sterowania na tę z rys. 10b3, odzwierciedlającą stan jego załączenia. Procedura wyłączenia obiektu odbywa się analogicznie. Naciśnięcie przycisku ekranowego „W” na ikonie stanu załączenia obiektu (rys.10b3) powoduje przygotowanie do wyłączenia obiektu. Potwierdzenie tego stanu odzwierciedla ikona z rys.10b4. Naciśnięcie przycisku WYKONAJ powoduje wyłączenie danego obiektu i zmianę stanu ikony sterowania na tę z rys. 10b1.



Rys. 10. Przykłady realizacji sterowania jedno i dwuetapowego w systemie TelWin
 Fig. 10. Examples of: a) one-stage, b) two-stage control in system TelWin

6. Podsumowanie

Zagadnienie pewności telesterowania w Systemie Telemechaniki rozpatrzone na trzech poziomach (obszarach): bezpośredniego sterowania urządzeniem na kontrolowanym obiekcie, wyróżnienia ramki sterowania dwustanowego od innych ramek w stosowanym protokole komunikacyjnym i jej zabezpieczenia nadmiarowego oraz przebiegu procedury sterowania w programie dyspozytorskim typu SCADA. Realizacja tej procedury w terminalu operatorskim może przebiegać analogicznie.

Stopień pewności poziomu obiektowego zależy od jego rozwiązania układowego. Wymagana jest od niego możliwość przełączenia sterowania zdalnego (pochodzącego od sterownika stacji) na sterowanie lokalne oraz możliwość zablokowania przez obsługę serwisową sterowania niezależnie od źródła pochodzenia informacji sterującej. Drugą ważną cechą prezentowanych rozwiązań obiektowego układu sterowania jest możliwość przeprowadzenia autotestu układu ze sterownika stacji obiektowej, dającego w słowie stanu stacji obiektowej odpowiedź, czy obiektowy układ sterowania jest sprawny.

Pewność poziomu transmisyjnego, bardzo istotna z punktu wpływu możliwych zakłóceń na sygnał przesyłu ramki transmisyjnej, a co za tym idzie na możliwość przekłamania informacji sterującej, sprowadza się do rozwiązania dwóch zagadnień. Pierwsze to polega na przyjętym rozwiązaniu procedury sterowania w protokole transmisyjnym, definiujący rozwiązanie układu sterowania na wyjściu sterownika. Zaprezentowano możliwości protokołu transmisji radiowej PTR do realizacji sterowania dwustanowego i wynikające z tych możliwości rozwiązanie układowe modułu wyjść dwustanowych WD16 a także rozwiązanie dla sterownika PLC (rys.2). Drugie zagadnienie poziomu transmisyjnego polega na przyjętym w protokole komunikacyjnym zabezpieczeniu nadmiarowym. Przyjęty wielomian generujący zaprezentowany na rys.4 jest optymalnym rozwiązaniem dla kodu $(n,k) = (24,8)$ z 8-bitowym słowem danych (bajtem numeru sterowania – numeru sterowanego obiektu). Potwierdzeniem jakości tego rozwiązania jest fakt, że w kilku aplikacjach systemu RST w systemach wodociągowych (PWIK: Gniezno, Gliwice, Człuchów), w przeciągu ponad 10 letniej ich pracy nie zanotowano ani jednego błędnego sterowania.

Zagadnienie pewności sterowania na poziomie programu wizualizacji dyspozytorskiej sprowadza się do przyjętego rozwiązania realizacji decyzji operatora, co do wykonania lub skasowania zamierzonego lub błędnie zainicjowanego sterowania. Na sposób konfiguracji i prezentacji sterujących przycisków ekranowych oraz wykonanie decyzji operatora mają wpływ przyjęte rozwiązania obiektowe układu sterowania.

Bibliografia

- 1) Z. Kubiak, R. Mielcarek: „*Problematyka kodu optymalnego dla zabezpieczenia danych transmisyjnych w Radiotelefonicznym Systemie Telemechaniki*”. II MKNT pt.: REAL-TIME SYSTEMS ,95, str. ; 394-402. Szklarska Poręba, wrzesień 1995
- 2) R. Mielcarek. „*Zabezpieczenia Systemowo-Programowe w Sterowniku Stacji Obiektowej Radiotelefonicznego Systemu Telemechaniki*”. III MKNT pt.: REAL-TIME SYSTEMS ,96 Szklarska Poręba. wrzesień 1996.
- 3) Z. Kubiak, R. Mielcarek: „*Radiotelefoniczny System Telemechaniki do Sterowania i Kontroli Ujęć Wody*”. Prace Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej: Komputer w Ochronie Środowiska. Kiekrz k. Poznania. Październik 1997. Politechnika Poznańska i PZITS.
- 4) R. Mielcarek. „*Problematyka pewności telesterowania w Radiotelefonicznym Systemie Telemechaniki*”. V KNT pt.: Systemy Czasu Rzeczywistego ,98. Str.: 208-217. Szklarska Poręba. wrzesień 1998.
- 5) Z. Kubiak, R. Mielcarek.: „*Konfiguracja, eksploatacja i ekonomiczne aspekty zastosowania Radiotelefoniczno-Przewodowego Systemu Telemechaniki w monitorowaniu i sterowaniu systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*”. V MKNT pt.: ZAOPATRZENIE W WODĘ I JAKOŚĆ WÓD. Gdańsk – Poznań, czerwiec 2002r. Str.: 1070-1080.
- 6) R. Mielcarek: „*Sterownik Alpha Mitsubishi Electric w lokalnej i zdalnej kontroli i sterowaniu*”. Systemy Czasu Rzeczywistego – Metody i Zastosowania. Rozdz. 40. WKŁ 2007.
- 7) R. Mielcarek: „*Wprowadzanie nadmiaru informacyjnego dla transmitowanych szeregowo danych w kompaktowych sterownikach PLC firmy Mitsubishi Electric*”. 2013/11 Napędy i Sterowanie, str. 48 – 55.
- 8) Strona internetowa: <http://www.tel-ster.pl/index.php/telwin-scada/>