

Uruchamianie oraz testowanie programu w sterowniku PLC

WYKORZYSTANIE PRZEMYSŁOWYCH URZĄDZEŃ MIKROPROCESOROWYCH W STEROWANIU PROSTYMI I ZŁOŻONYMI PROCESAMI MECHATRONICZNYMI

DR INŻ. ZBIGNIEW SETA

UKŁAD CYFROWY, MIKROPROCESOR, STEROWNIK CYFROWY, STEROWNIK PROGRAMOWALNY PLC, SYSTEM MECHATRONICZNY, PROGRAMOWANIE URZĄDZEŃ MIKROPROCESOROWYCH, MODUŁY STEROWNIKA PLC, KONFIGURACJA STEROWNIKA PLC, NORMA IEC 1131, METODY PROGRAMOWANIA STEROWNIKÓW PLC, APLIKACJA STEROWNIKA PLC W SYSTEMACH MECHAT.

W niniejszej publikacji podjęto się zadania przedstawienia zagadnień stosowalności w sterowaniu mechatronicznym nowoczesnych mikroprocesorowych urządzeń – sterowników programowalnych PLC (ang. Programmable Logic Controllers). Procesy sterowania, na których skupiono się przy wyjaśnieniu zasad wykorzystania tych urządzeń obejmują przypadki prostych oraz złożonych układów mechatronicznych. Do tych pierwszych zaliczymy sterowanie siłownikami pneumatycznymi, zaś do tych drugich sterowanie napędami elektrycznymi z wykorzystaniem przetwornic częstotliwości. Za wszelkie uwagi dotyczące prezentowanego materiału Autor niniejszej publikacji będzie bardzo wdzięczny. Ewentualne uwagi Czytelnik może kierować pod adres e-mail: seta@mchtr.pw.edu.pl.

Spis treści

PRZEDMOWA.....	2
Uruchamianie oraz testowanie programu w sterowniku PLC.....	4
1. Sterownik PLC jako alternatywa dla sterowania stykowego.....	6
1.1. Układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu bez tzw. samo-podtrzymania	6
1.2. Układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu z tzw. samo-podtrzymaniem.....	10
1.3. Układ sterowania silnikiem elektrycznym z dwóch pulpitów sterujących.....	13
1.4. Układ sterowania silnikiem elektrycznym ze zmianą kierunku obrotów.....	16
1.5. Układ sterowania silnikiem napędu z rozruchem automatycznym gwiazda - trójkąt	21
1.6. Układ sterowania silnikiem napędu ze zmianą prędkości wirnika w układzie Dahlandera.....	27
1.7. Układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu - pierścieniowym	32
1.8. Uwagi do tworzenia programów PLC do sterowania silnikiem.....	38
2. Sterownik PLC w sterowaniu systemami mechatronicznymi.....	39
2.1. Układ sterowania pracą szybowej windy towarowej.....	40
2.2. Układ sterowania procesem mieszania materiałów sypkich	47
3. Uruchamianie oraz testowanie systemów mechatronicznych	54
3.1. Uruchamianie i testowanie jednostki CPU oraz modułów wejść/wyjść sterownika PLC.....	55
3.2. Sposób testowania programu użytkowego PLC	57
4. Podsumowanie	61
BIBLIOGRAFIA	62

PRZEDMOWA

W niniejszym opracowaniu autor podjął się zadania przedstawienia stosowalności w sterowaniu systemami mechatronicznymi nowoczesnych mikroprocesorowych urządzeń procesu produkcyjnego – **Sterowników Programowalnych PLC** (ang. *Programmable Logic Controllers* - w skrócie: sterowników PLC). Ponieważ z racji swoich parametrów technicznych oraz funkcjonalnych sterownik PLC wykorzystywany jest w przeważającej większości przypadków w sterowaniu systemami mechatronicznymi, w których układ sterowania operuje na sygnałach wejścia/wyjścia, będących sygnałami dyskretnymi (dwustanowymi, pochodzącymi ze zbioru $\{0,1\}$), przy omawianiu zagadnień wykorzystania sterownika PLC w takim sterowaniu skupiono się przede wszystkim na omówieniu przykładów sterowania procesami dyskretnymi.

Przykłady sterowania systemami mechatronicznymi, które posłużyły autorowi do wyjaśnienia roli oraz znaczenia wykorzystania w takim systemie sterownika PLC, objęły przypadki prostych jak i złożonych systemów mechatronicznych. Do tych pierwszych układów zaliczono np. sterowanie silnikiem elektrycznym w różnych konfiguracjach. Do tych drugich układów zaliczono np. sterowanie pracą szybowej windy towarowej oraz procesem mieszania materiałów sypkich.

Przy prezentowaniu materiału w zakresie aplikacji fizycznej sterowników PLC do sterowania przykładowymi systemami mechatronicznymi skoncentrowano się na zilustrowaniu Czytelnikowi najważniejszych aspektów wykorzystania tych urządzeń w takim sterowaniu, czyli:

- wkomponowaniu sterownika PLC w układ sterowania przykładowym systemem mechatronicznym;
- syntezie algorytmu procesu metodą modelowania określaną jako GRAFCET;
- syntezie algorytmu sterowania metodą modelowania określaną jako SFC;
- tworzeniu zapisu programu wykonywalnego (użytkowego) dla sterownika PLC przy użyciu metod programowania, określonych w normie IEC 131-3;
- podaniu uwarunkowań związanych z bezpieczeństwem funkcjonowania sterownika PLC w układzie sterowania przykładowymi systemami mechatronicznymi.

W związku z faktem, iż w systemach mechatronicznych funkcjonują nadal układy, określane mianem układów sterowania stykowego, (czyli układy, w których dany algorytm sterowania realizowany jest za pomocą sterowania przekaźnikami, stycznikami, przyciskami, itp. i ich łącznikami stykowymi - zestykami), wszędzie tam, gdzie było to konieczne i wskazane, sterowanie za pomocą sterownika PLC odniesiono do takiego właśnie układu stykowego. Uczyniono tak dla lepszego zrozumienia przez Czytelnika prezentowanego materiału zakładając, że w niektórych przypadkach pokazanie analogii dwóch rodzajów sterowań, które spotykane są w mechatronice, odniesionych do tego samego zadania sterowania systemem mechatronicznym może być korzystne dla Czytelnika. Założono przy tym, że Czytelnik dysponuje podstawową wiedzą na temat działania oraz konstrukcji układów sterowania stykowego.

Autor zaznacza, że zakres materiału, zilustrowany w niniejszej publikacji podzielono na cztery następujące moduły:

- ⇒ **Wykorzystanie mikroprocesorów w sterowaniu. Podstawy sterowników programowalnych PLC** – treść tego modułu ilustruje najważniejsze cechy mikroprocesora, który jest „sercem” każdego sterownika PLC, bez względu na jego rodzaj czy typ, oraz ilustruje sposób włączenia (wkomponowania) sterownika PLC do systemu sterowania mechatronicznego wraz z przedstawieniem podstaw syntezy algorytmu sterowania, która powinna być dokonana przed utworzeniem programu sterującego dla sterownika PLC;
- ⇒ **Budowa sterowników programowalnych PLC. Podstawowe moduły sterownika PLC** – treść tego modułu omawia rodzaje sterowników PLC z podziałem na urządzenia typu Compact oraz typu modułowego, oraz prezentuje rodzaje oraz parametry techniczne modułów, które wchodzi w skład konfiguracji każdego sterownika PLC;
- ⇒ **Norma przemysłowa IEC 1131-3. Metody programowania sterowników PLC** – treść tego modułu omawia trzecią część normy (europejska sygnatura to EN 61131-3), w której zawarte jest omówienie metod programowania sterowników PLC;
- ⇒ **Uruchamianie oraz testowanie programu w sterowniku PLC** – treść tego modułu omawia włączenie sterownika PLC jako serca układu sterowania do przykładowych prostych oraz złożonych systemów mechatronicznych, włączając zilustrowanie uruchomienia sterownika PLC oraz późniejsze testowanie programu użytkowego na sterowanym obiekcie.

Autor zaznacza również, że niniejsza publikacja uzupełniona została odpowiednio dobranymi materiałami multimedialnymi, w dużej ich liczbie, które są swoistego rodzaju mini-wykładami autora opracowania, i które będą dostępne dla Czytelnika.

Dodatkowo autor opracowania przygotował dla każdego modułu zestaw pytań kontrolnych oraz testów sprawdzających wraz z odpowiedziami. Powyższe powinno dać Czytelnikowi odpowiedź, w jakim stopniu przyswoił on sobie materiał niniejszej publikacji.

Na zakończenie autor podkreśli, że niniejszą publikację opracowano na podstawie materiału, będącego treścią licznych wykładów, jakie autor prowadził dla studentów uczelni technicznych. Odbiorcami niniejszej publikacji powinni być Czytelnicy zajmujący się zawodowo projektowaniem aplikacji sterujących w systemach mechatronicznych, które zawierają m.in. urządzenia mikroprocesorowe typu sterowniki PLC. Publikacja będzie również przydatna dla studentów wydziałów elektrycznych, informatycznych, mechatronicznych, itp., uczelni technicznych, czyli wszędzie tam, gdzie występuje kształcenie studentów o specjalnościach pokrewnych automatyce, mechatronice oraz sterowaniu procesami technologicznymi.

Za wszelkie uwagi dotyczące prezentowanego materiału autor będzie bardzo wdzięczny. Czytelnicy mogą je kierować pod adres e-mail: seta@mchtr.pw.edu.pl lub zbigniew.seta@pw.edu.pl.

Uruchamianie oraz testowanie programu w sterowniku PLC

Pierwotna idea opracowania oraz późniejszego wykorzystywania w sterowaniu procesami mechatronicznymi sterowników cyfrowych PLC zawarta była w chęci wyeliminowania z takich procesów zawodnych układów stykowo-przełącznikowych (tzw. sterowania stykowego). Później, w miarę rozwoju systemów informatycznych oraz układów mikroprocesorowych, które jak wiadomo były i są sercem jednostki CPU każdego sterownika PLC, urządzenia te zaczęto wykorzystywać do realizacji sterowania oraz regulacji coraz bardziej złożonych systemów mechatronicznych, gdzie sterowanie stykowe z racji swoich wad nie mogło mieć już zastosowania.

Proces zastępowania sterowania stykowego urządzeniami mikroprocesorowymi doprowadził do tego, że sterowanie stykowe w chwili obecnej praktycznie nie występuje w realizacji algorytmów sterowania procesami mechatronicznymi. Jednak pewną namiastkę sterowania stykowego musiano pozostawić w sterowaniu procesami mechatronicznymi, ponieważ było to niezbędne. Namiastką tą jest wykorzystywanie różnych zestawy przycisków sterujących oraz ich kombinacji połączeń w różnych pulpitych sterujących, opracowanych dla pracujących urządzeń mechatronicznych. Namiastką tegoż jest również wykorzystywanie pomocniczych zestawów układów wykonawczych, typu przełączniki czy styczniki w realizacji tzw. wykluczeń w działaniu odpowiednich urządzeń, które muszą być wyłączone z działania (tj. aby nie powodować kolizji w sterowaniu procesem z innymi urządzeniami) zgodnie z algorytmem sterowania.

Nadmieńmy, że ta pierwsza namiastka sterowania stykowego jest coraz częściej zastępowana przez aktywne ekrany dotykowe, które zorientowane są (tzn. współpracują „po” sieci przemysłowej typu LAN lub inaczej) ze sterownikiem PLC lub wspomniana namiastka sterowania stykowego zastępowana jest przez wbudowane lub zintegrowane z płytą frontową sterownika PLC przyciski funkcyjne, których uaktywnianie zastępuje przyciski tradycyjnego pulpitu sterującego.

Rysunek 45 ilustruje oba wymienione wyżej nowoczesne podejścia do zastąpienia tradycyjnego pulpitu sterującego (dla procesu mechatronicznego) nowoczesnymi rozwiązaniami pulpitych aktywnych, które współpracując na bieżąco ze sterownikiem cyfrowym PLC komunikują się tym samym z operatorem tegoż procesu mechatronicznego.



Rysunek 45: Przykłady rozwiązań nowoczesnych „pulpitów” sterujących dla systemów mechatronicznych

Bez względu na typ oraz rodzaj proponowanego sterownika cyfrowego PLC dla docelowej aplikacji tegoż urządzenia w systemie mechatronicznym podejście projektanta każdej aplikacji sterowania jest podobne. Najpierw projektant musi zapoznać się z postawionym problemem sterowania, nazywanym często zadaniem sterowania, który wynika z analizy działania konkretnego systemu mechatronicznego lub jego większego lub mniejszego fragmentu. Niezbędnym tutaj staje się utworzenie algorytmu działania takiego systemu (np. metodą GRAFCET lub SFC), który to graf zastąpi sformułowany na skutek np. „burzy mózgów” proponowany sposób działania systemu mechatronicznego. Kolejnym krokiem jest utworzenie tzw. schematu tegoż systemu, na który będzie można nanieść w postaci bloków odpowiednie składniki sterowanego systemu, oczujnikowanie, itp. Potem następuje dedykowanie odpowiedniego sterownika PLC do takiego systemu mechatronicznego, tworzenie programu użytkowego, późniejsze próbne uruchamianie i testowanie. Utworzona dokumentacja systemu mechatronicznego gwarantuje późniejszą diagnostykę, modernizację systemu czy programowo przewidzianą konserwację urządzeń.

W module 4 niniejszego opracowania autor zaprezentował wybrane o narastającym stopniu trudności przykłady zastosowania sterownika PLC w systemach sterowania procesami mechatronicznymi. Materiał modułu podzielono na trzy części:

- **Część pierwsza:** wykorzystanie sterownika PLC na tle sterowania stykowego, w którym to układzie urządzeniem wykonawczym jest napęd elektryczny a *novum* stanowi sterownik PLC z utworzonym programem użytkowym w trzech językach programowania zgodnie z normą IEC 1131-3;
- **Część druga:** wykorzystanie sterownika PLC do sterowania procesami mechatronicznymi o różnym stopniu złożoności układowej, w których to układach zaproponowano wyłącznie technikę PLC do sterowania tymi procesami mechatronicznymi;
- **Część trzecia:** omówienie zagadnień uruchamiania oraz testowania systemów mechatronicznych, których sterowanie oparte jest o sterownik PLC.

Każde zadanie rozpoczyna się słownym sformułowaniem problemu sterowania a kończy finalnym programem użytkowym PLC. Program użytkowy zaprezentowano w trzech językach programowania, zgodnych z normą IEC1131 - 3, tj. za pomocą metod STL, LAD i FBD.

Nadmienia się, że postać programu użytkowego dla sterownika PLC dla proponowanych przykładów zadań modułu 4 jest postacią programu PLC jedną z możliwych. Bowiem od inwencji twórcy takiego programu użytkowego dla sterownika PLC zależy jej postać końcowa, która zostanie załadowana do pamięci sterownika. Autor publikacji założył, że Czytelnikowi znane są podstawowe zasady sterowania stykowego, oraz że zaprezentowane w module 4 przykłady posłużą lepszemu zrozumieniu aplikacji sterowania z wykorzystaniem techniki PLC oraz posłużą do nauki zasad programowania sterowników PLC. Ewentualne wykorzystanie zaprezentowanych programów użytkowych lub koncepcji sterowania w określonym fizycznym systemie mechatronicznym lub jego fragmencie, powinno być zawsze poprzedzone dokładną ich analizą pod kątem ich przydatności, a jeżeli to nastąpi, to autor opracowania nie ponosi za to odpowiedzialności.

1. Sterownik PLC jako alternatywa dla sterowania stykowego

Przykłady sterowania niewielkimi systemami mechatronicznymi, które zilustrowano w tym podpunkcie prezentują sposób wykorzystania sterownika PLC w układach sterowania, wykorzystujących napęd elektryczny. Przyjęto, że elementem wykonawczym tego napędu jest silnik elektryczny prądu zmiennego i to ten element napędu poddaje się wyłącznie sterowaniu za pośrednictwem układu sterowania. Tym samym nie rozważano konstrukcji mechanicznej napędu elektrycznego, jego obciążenia w układzie, itp.

1.1. Układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu bez tzw. samo-podtrzymania

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceniodawcy

Zrealizować układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu przemysłowego. Silnik elektryczny napędu powinien być włączany przez operatora procesu jednym przyciskiem załączającym o oznaczeniu **S1**, który ma być docelowo umieszczony na pulpicie sterującym. Silnik w stanie włączenia powinien pracować dopóty, dopóki operator procesu pobudza ręcznie przycisk załączający **S1**. Stan pracy silnika elektrycznego: **włączony/wyłączony** powinien być sygnalizowany optycznie na pulpicie sterującym poprzez użycie sygnalizatorów optycznych (tzw. lampek kontrolnych):

- sygnalizator **H1** dla stanu pracy silnika – **włączony**;
- sygnalizator **H2** dla stanu pracy silnika - **wyłączony**.

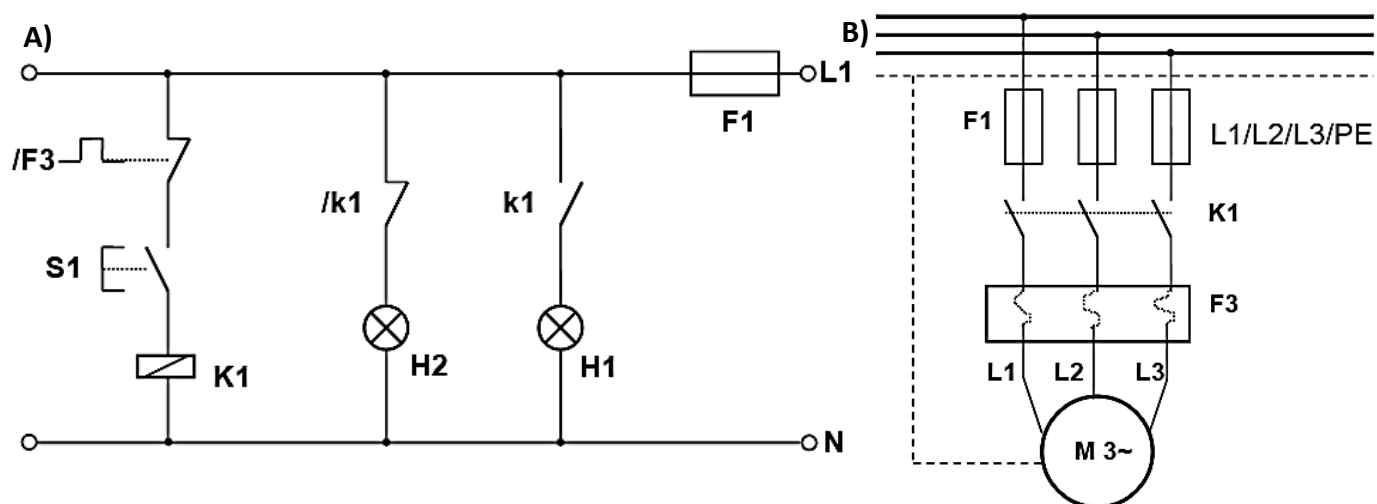
Działanie silnika elektrycznego powinno być dodatkowo zabezpieczone przed przeciążeniem poprzez użycie przekaźnika termicznego **F3**.

(Dla Czytelnika jest zapewne jasne, że autor używając w opisach nazw elementów sterowania stykowego typu przycisk załączający **S1**, stycznik **K1**, itp., miał na myśli odpowiednie zestyki takich elementów załączających oraz wykonawczych. Taką konwencję autor przyjął we wszystkich opisach przykładów w module 4).

B) Opis działania układu sterowania silnikiem napędu elektrycznego bez samo-potrzymania

Po naciśnięciu przez operatora procesu monostabilnego przycisku załączającego **S1** następuje włączenie stycznika **K1**, którego zestyki robocze załączają odpowiednie uzwojenia silnika elektrycznego napędu. Zostaje wygaszona lampka kontrolna **H2** a zapala się lampka kontrolna **H1**. Silnik elektryczny napędu pracuje (tzn. wał silnika obraca się) i jest dodatkowo przeciążeniowo kontrolowany przez zestyk przekaźnika termicznego – **F3**. Po zwolnieniu przycisku **S1** następuje bez zbędnej zwłoki wyłączenie stycznika **K1** (i w konsekwencji zatrzymanie silnika elektrycznego) oraz lampki kontrolnej **H1** a zapalenie lampki kontrolnej **H2**. Zatrzymanie silnika elektrycznego przy powyższych warunkach wyłączenia i sygnalizacji wystąpi również przy wcześniejszym zadziałaniu przekaźnika termicznego **F3** nawet przy pobudzonym przycisku **S1**.

C) Schemat sterowania stykowym silnikiem elektrycznym napędu oraz schemat obwodu prądowego



Rysunek 46: Schematy sterowania silnikiem elektrycznym napędu bez samo-podtrzymania: A) schemat sterowania stykowego; B) schemat obwodu prądowego

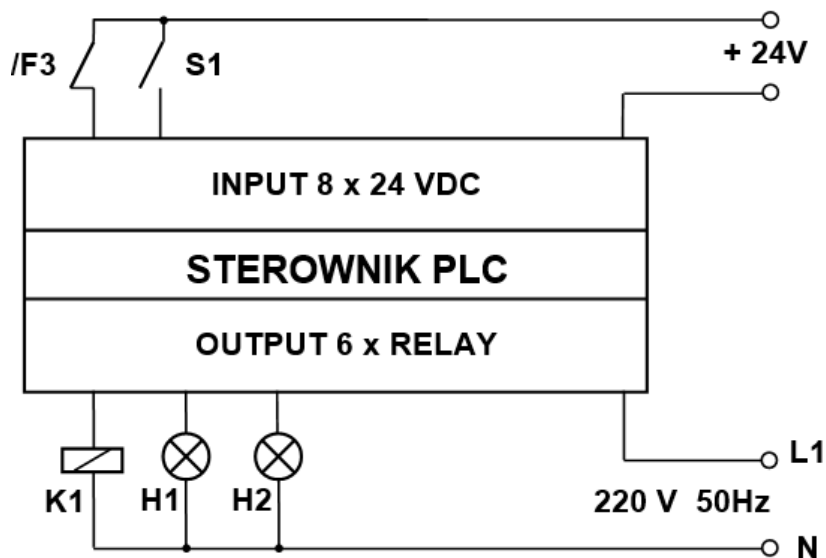
D) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresom absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 33: Tabela przyporządkowująca

Sygnal	Adres absolutny (Operand)	Komentarz
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego – typ NC
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego - typ NO
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego uzwojenia silnika elektrycznego napędu
H1	Q0.1	Sygnalizator optyczny załączenia silnika
H2	Q0.2	Sygnalizator optyczny wyłączenia silnika

(Tabela przyporządkowująca stanowi zazwyczaj element dokumentacji technicznej projektu sterowania systemem mechatronicznym, który oparty został o wykorzystanie sterownika PLC. Na podstawie tej tabeli przyporządkowującej można dokonywać łatwej diagnostyki systemu sterowania, gdyż odpowiednie elementy we/wy systemu mechatronicznego mają swoje odpowiedniki w postaci operandów, które umieszczane są jako argumenty programu użytkowego sterownika PLC. Obecnie tabela przyporządkowująca jest wygodnym narzędziem języków programowania sterowników, gdyż pozwala na naprzemienne używanie w programie użytkowym łatwych do zapamiętania nazw symbolicznych, które pochodzą z kontrolowanego przez sterownik PLC systemu mechatronicznego, zamiast adresów absolutnych, których duża liczba może zaciemniać program użytkowy).

E) Schemat elektryczny dla sterowania silnika elektrycznego napędu za pośrednictwem sterownika PLC



Rysunek 47: Schemat sterowania PLC silnikiem elektrycznym

(Do poszczególnych we/wy modułów sterownika PLC doprowadzone są sygnały z elementów we/wy systemu mechatronicznego. Widoczne na rys. 34A) symbole: /k1 oraz k1 będą teraz „widoczne” wyłącznie w programie PLC jako argumenty instrukcji. Czyli logika sterowania stykowego będzie zawarta tylko w programie PLC).

F) Program użytkowy PLC do sterowania silnikiem elektrycznym napędu zgodnie z opisem w p. B)

⇒ JĘZYK STL

Network 1 Uruchomienie silnika

```
LD    F3 : I0.0
A     S1 : I0.1
=     K1 : Q0.0
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przekaźnika termicznego typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego uzwojenia silnika
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego typ NO

Network 2 Sygnalizacja załączenia silnika

```
LD    K1 : Q0.0
=     H1 : Q0.1
```

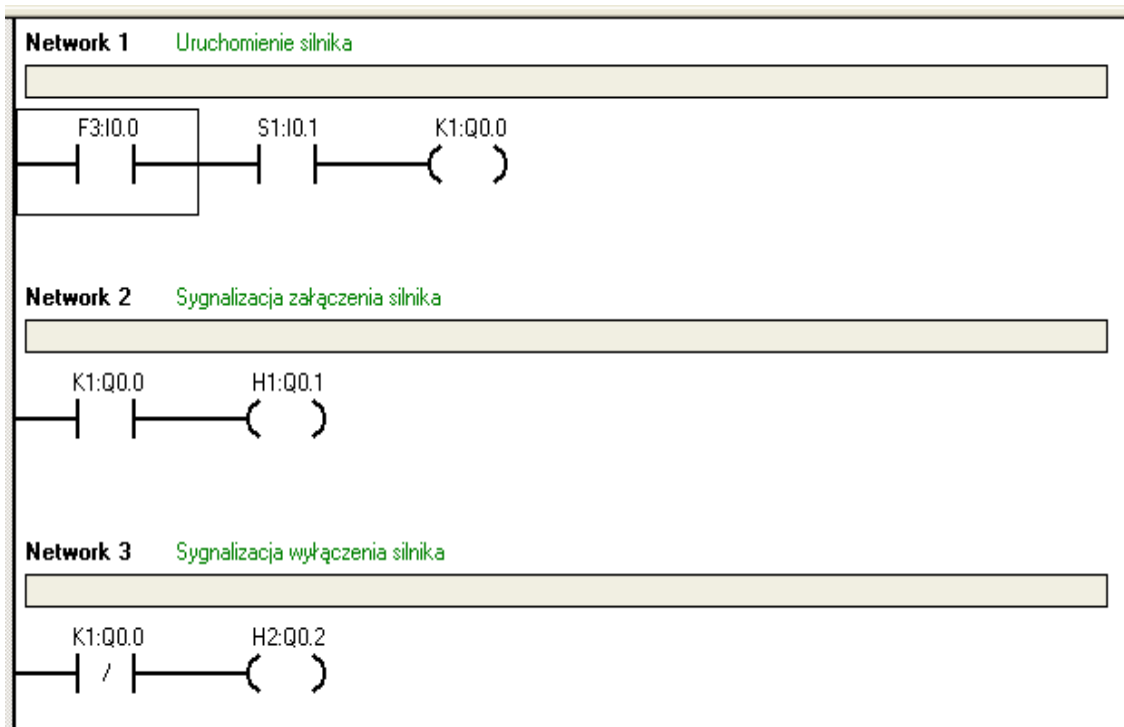
Symbol	Address	Comment
H1	Q0.1	Sygnalizator optyczny załączenia silnika
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego uzwojenia silnika

Network 3 Sygnalizacja wyłączenia silnika

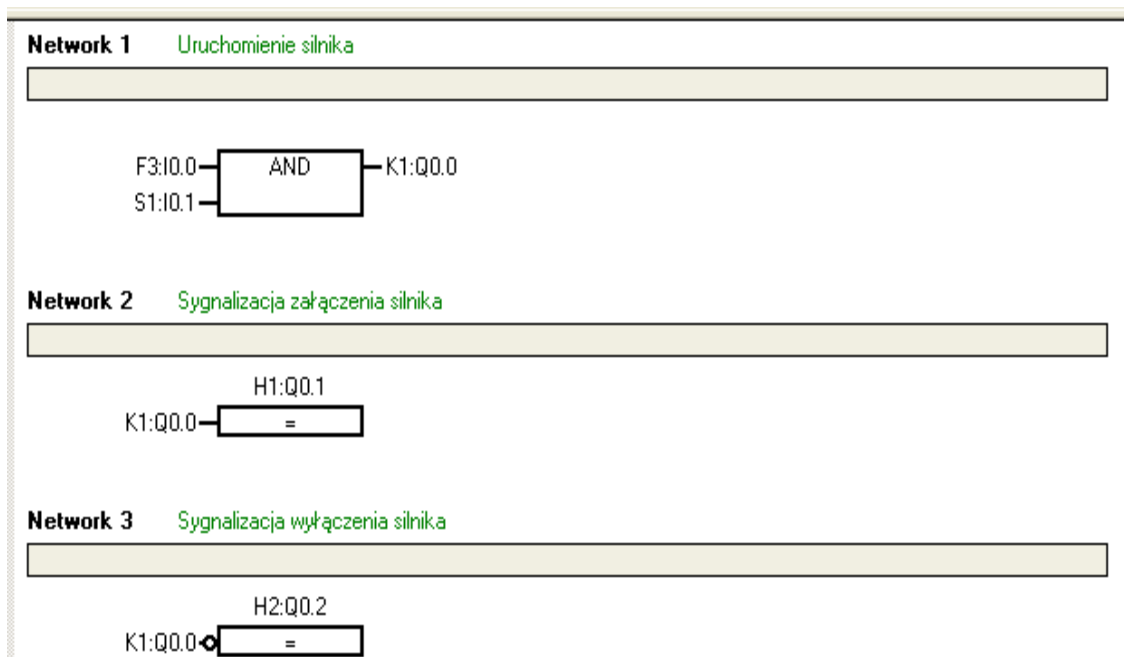
```
LDN   K1 : Q0.0
=     H2 : Q0.2
```

Symbol	Address	Comment
H2	Q0.2	Sygnalizator optyczny wyłączenia silnika
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego uzwojenia silnika

⇒ JĘZYK LAD



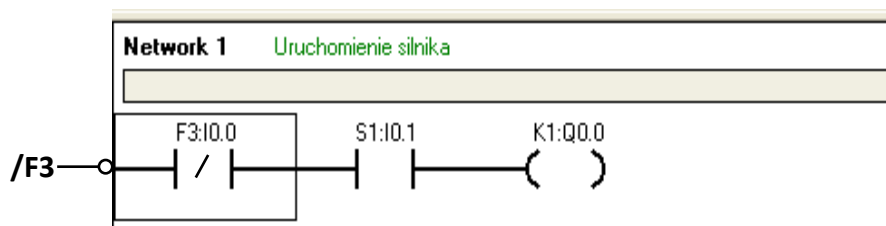
⇒ JĘZYK FBD



UWAGA 1:

Wymaga wyjaśnienia brak użycia negacji dla sygnału **F3:I0.0** w programie użytkowym (w każdej sieci **Network 1**), jako działanie odpowiadające użyciu zestyku normalnie zamkniętego **/F3** w odniesieniu do schematu sterowania stykowego z rysunku 34A). Użycie zestyku typu NC musiało wystąpić, gdyż w **punkcie A** analizowanego przykładu narzucono przeciążeniowe wyłączenie silnika elektrycznego, czyli przerwanie obwodu sterowania stykowego w momencie zadziałania przekaźnika termicznego **F3**, czyli dopiero w momencie przeciążenia silnika napędu. (Zestyk **/F3** zmieni wtedy położenie na przeciwne). Przy braku przeciążenia tego silnika zestyk **/F3** jest w pozycji spoczynkowej i silnik elektryczny napędu jest sterowany. Zastosowanie identycznej konstrukcji logicznej w programie użytkowym dla przekaźnika **F3**, wprowadzonego jako sygnał do modułu wejść sterownika PLC – rysunek 47, nie mogło być zrealizowane. Wystąpiłaby bowiem w programie

użytkowym PLC tzw. „podwójna negacja”, gdyż sygnał z przekaźnika termicznego **F3** byłby najpierw pierwotnie zanegowany, na co wskazuje znak ukośnej kreski „ / ” przy symbolu przekaźnika, a zanegowanie w programie PLC byłoby drugą negacją tego sygnału **F3**. Ilustruje to rysunek 48.



Rysunek 48: Sieć programowa Network 1 z dwoma negacjami sygnału F3

W konsekwencji sieć **Network 1** nie spełniałaby swojego zadania sterowania. Sygnał z przekaźnika termicznego **F3**, który poprzez prawidłowe użycie swojego zestyku **/F3** wprowadzałby do programu PLC (jako wejście **IO.0**) sygnał wysoki, czyli „1” (pierwsza negacja), byłby następnie zanegowany w bločku programu LAD poprzez użycie symbolu negacji (patrz prostokątna ramka). Pobudzenie przycisku **S1:IO.1** nie wywołałoby zadziałania wyjścia **K1:Q0.0**, gdyż do przycisku **S1** „nie dochodziłby” sygnał poprzez operand **F3:IO.0**. (Rysunek 48).

1.2. Układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu z tzw. samo-podtrzymaniem

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceniodawcy

Zrealizować układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu przemysłowego. Silnik elektryczny napędu powinien być włączany monostabilnie przez operatora procesu przyciskiem załączającym o oznaczeniu **S1**, który ma być docelowo umieszczony na pulpicie sterującym. Silnik w stanie włączenia powinien pracować dopóty, dopóki operator procesu nie pobudzi ręcznie, również monostabilnie przycisku wyłączającego **S2**. Stan pracy silnika elektrycznego: **włączony/wyłączony** powinien być sygnalizowany optycznie na pulpicie sterującym poprzez użycie sygnalizatorów optycznych (tzw. lampek kontrolnych):

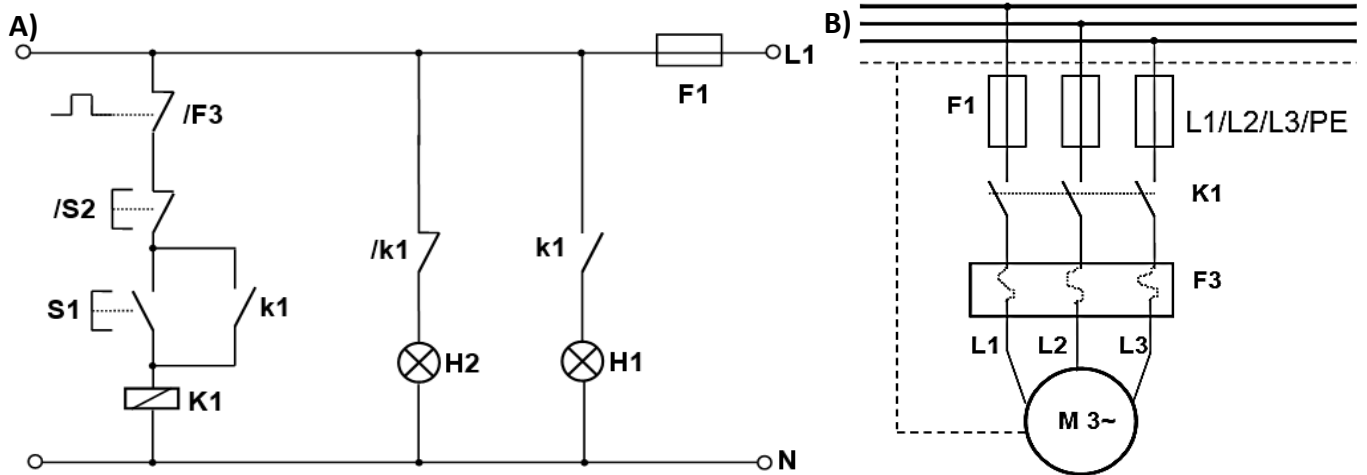
- sygnalizator **H1** dla stanu pracy silnika – **włączony**;
- sygnalizator **H2** dla stanu pracy silnika - **wyłączony**.

Działanie silnika elektrycznego powinno być dodatkowo zabezpieczone przed przeciążeniem poprzez użycie przekaźnika termicznego **F3**.

B) Opis działania układu sterowania silnikiem napędu elektrycznego z samo-potrzymaniem

Po naciśnięciu przez operatora procesu monostabilnego przycisku załączającego **S1** następuje włączenie stycznika **K1**, którego zestyki robocze załączają odpowiednie uzwojenia silnika elektrycznego napędu. Zostaje wygaszona lampka kontrolna **H2** a zapala się lampka kontrolna **H1**. Silnik elektryczny napędu pracuje (tzn. wał silnika obraca się) i jest dodatkowo przeciążeniowo kontrolowany przez zestyk przekaźnika termicznego – **F3**. Po pobudzeniu przycisku **S2** następuje bez zbędnej zwłoki wyłączenie stycznika **K1** (w konsekwencji silnika elektryczny zatrzymuje się) oraz lampki kontrolnej **H1** a zapalenie lampki kontrolnej **H2**. Zatrzymanie silnika elektrycznego przy powyższych warunkach wyłączenia i sygnalizacji wystąpi również przy wcześniejszym zadziałaniu przekaźnika termicznego **F3** nawet bez pobudzenia przycisku **S2**.

C) Schemat sterowania stykowego silnikiem elektrycznym napędu oraz schemat obwodu prądowego



Rysunek 49: Schematy sterowania silnikiem elektrycznym napędu z samo-podtrzymaniem:
A) schemat sterowania stykowego; B) schemat obwodu prądowego

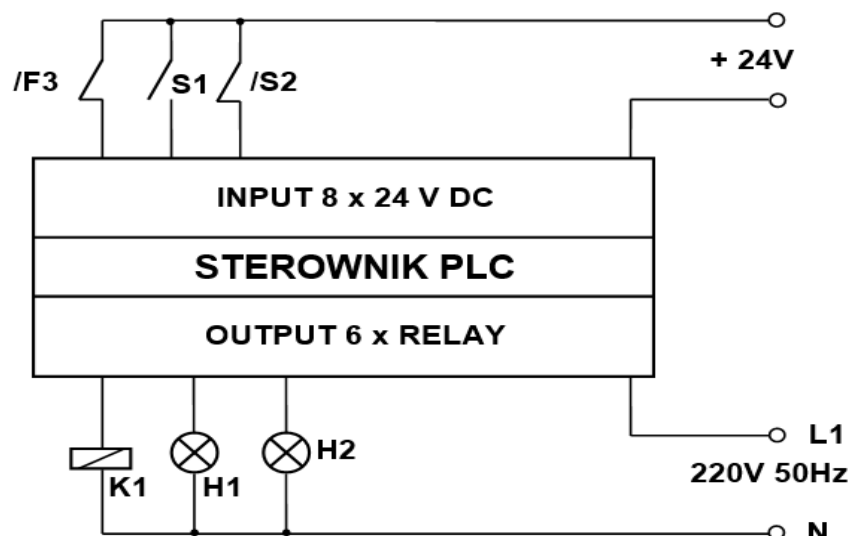
(Zestyk pomocniczy przekaźnika K1 - k1 (pierwsza gałąź na rysunku 49A), który połączony jest równolegle ze przyciskiem S1 (suma logiczna OR) realizuje tzw. samo-podtrzymanie, o które chodzi w przykładzie).

D) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresom absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 34: Tabela przyporządkowująca

Sygnał	Adres absolutny	Komentarz
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego – typ NC
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego uzwojenia silnika elektrycznego napędu
H1	Q0.1	Sygnalizator optyczny załączenia silnika
H2	Q0.2	Sygnalizator optyczny wyłączenia silnika

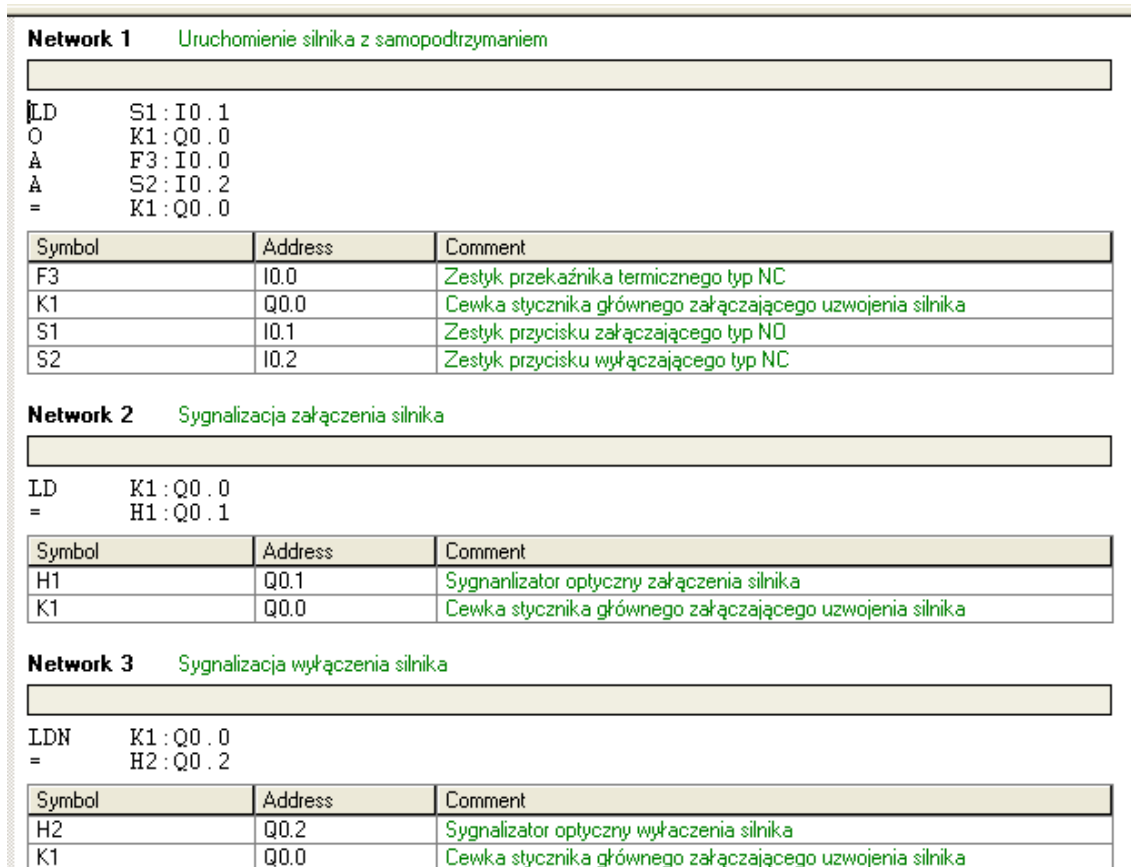
E) Schemat elektryczny dla sterowania silnika elektrycznego napędu za pośrednictwem sterownika PLC



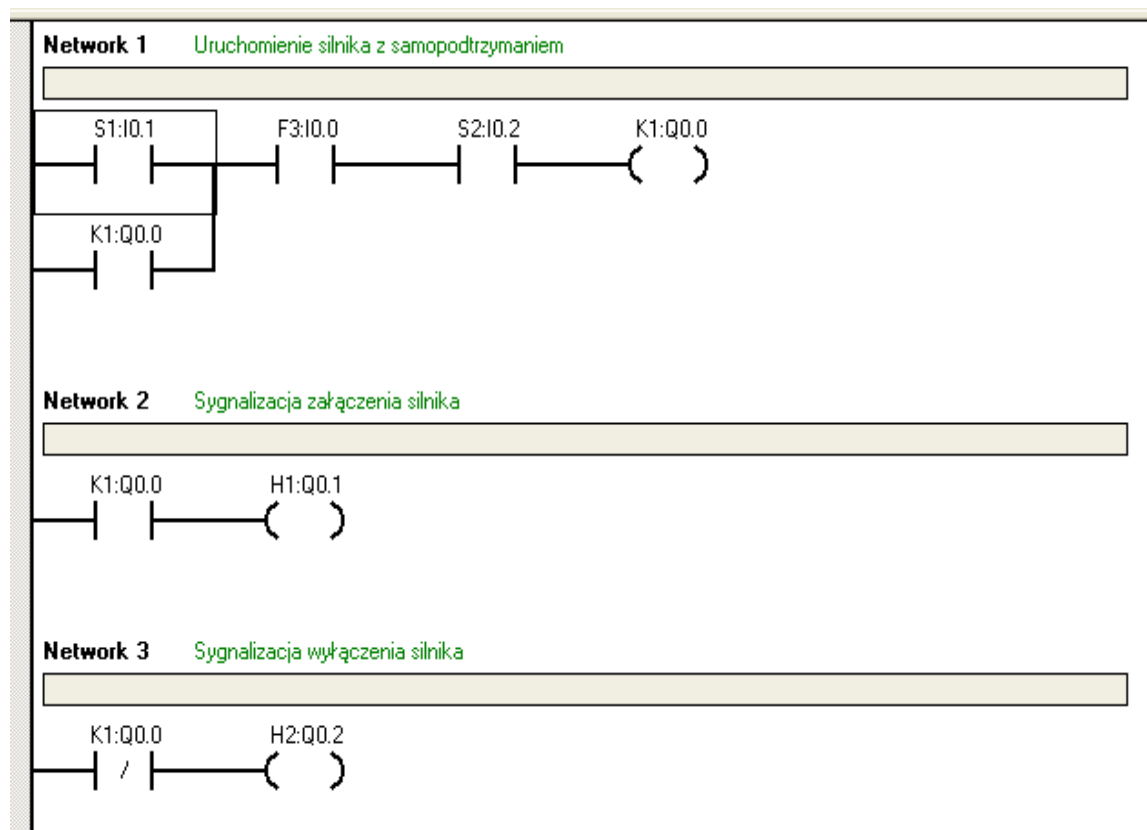
Rysunek 50: Schemat sterowania PLC silnikiem elektrycznym

F) Program użytkowy PLC do sterowania silnikiem elektrycznym napędu zgodnie z opisem w p. B)

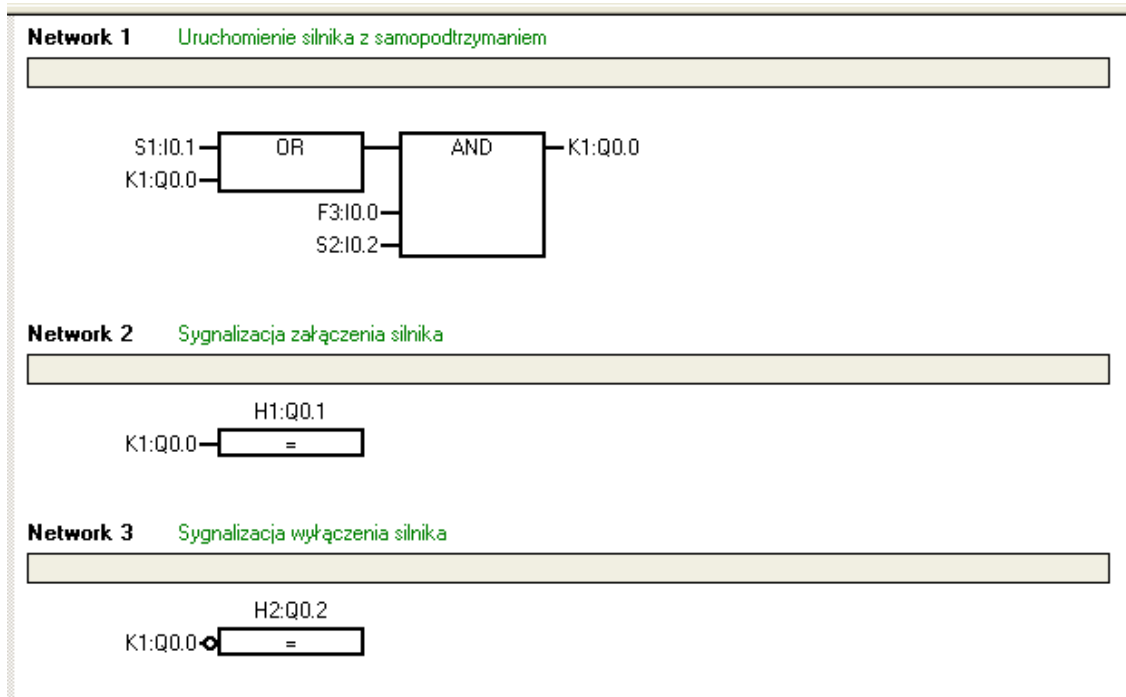
⇒ JĘZYK STL



⇒ JĘZYK LAD



⇒ JĘZYK FBD



1.3. Układ sterowania silnikiem elektrycznym z dwóch pulpitów sterujących

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceniodawcy

Zrealizować układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu przemysłowego z możliwością załączania silnika niezależnie z dwóch pulpitów sterujących. Silnik elektryczny napędu powinien być włączany monostabilnie przez operatora procesu przyciskiem załączającym o oznaczeniu **S1** (lub **S2** drugiego pulpitu sterującego), i który powinien pracować dopóty, dopóki operator procesu nie pobudzi ręcznie, również monostabilnie przycisku wyłączającego **S3** (lub **S4**). Stan pracy silnika elektrycznego: **włączony/wyłączony** powinien być sygnalizowany optycznie na pulpitych sterujących poprzez użycie sygnalizatorów optycznych (tzw. lampek kontrolnych):

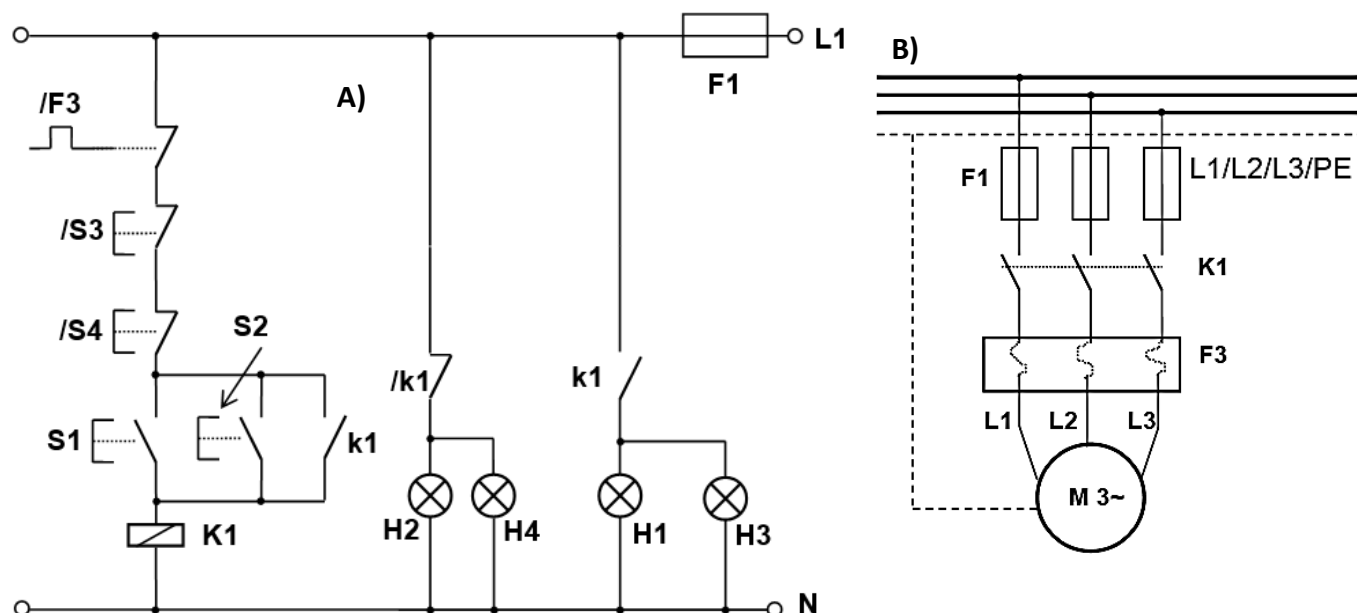
- sygnalizator **H1** (i **H3**) dla stanu pracy silnika – **włączony**;
- sygnalizator **H2** (i **H4**) dla stanu pracy silnika - **wyłączony**.

Działanie silnika elektrycznego powinno być dodatkowo zabezpieczone przed przeciążeniem poprzez użycie przekaźnika termicznego **F3**.

B) Opis działania układu sterowania silnikiem napędu elektrycznego z samo-potrzymaniem

Po monostabilnym naciśnięciu przez operatora procesu przycisku załączającego **S1** (lub **S2**) następuje włączenie stycznika **K1**, którego zestyki robocze załączają odpowiednie uzwojenia silnika elektrycznego napędu. Zostaje wygaszona lampka kontrolna **H2** (i **H4**) a zapala się lampka kontrolna **H1** (i **H3**). Silnik elektryczny napędu pracuje (tzn. wał silnika obraca się) i jest dodatkowo kontrolowany przez zestyk przekaźnika termicznego – **F3**. Po pobudzeniu przycisku **S2** (lub **S4**) następuje bez zbędnej zwłoki wyłączenie stycznika **K1** (w konsekwencji silnik elektryczny zatrzymuje się) oraz wyłączenie lampki kontrolnej **H1** (i **H3**) i zapalenie lampki kontrolnej **H2** (i **H4**). Zatrzymanie silnika elektrycznego przy powyższych warunkach wyłączenia i sygnalizacji wystąpi również przy wcześniejszym zadziałaniu przekaźnika termicznego **F3** nawet bez pobudzenia przycisku **S2** (lub **S4**).

C) Schemat sterowania stykowym silnikiem elektrycznym napędu oraz schemat obwodu prądowego



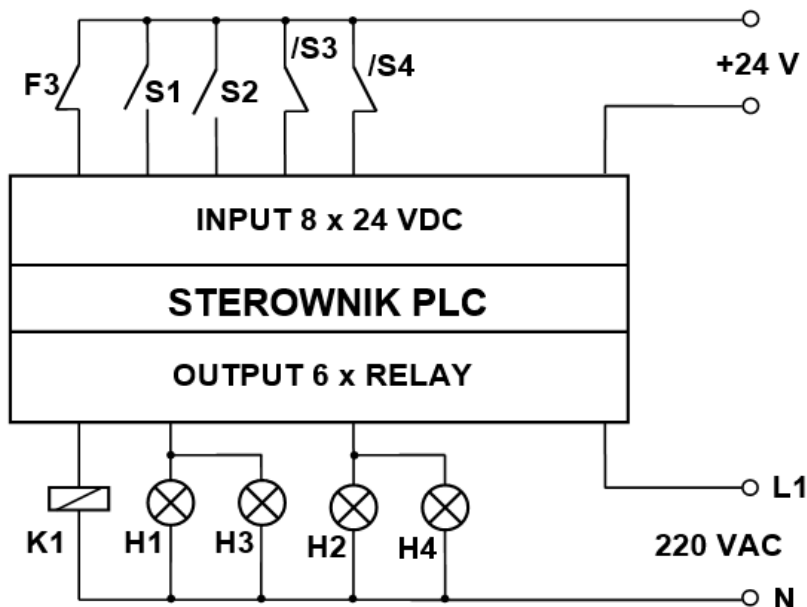
Rysunek 51: Schematy sterowania silnikiem elektrycznym napędu z dwóch pulpituw: A) schemat sterowania stykowego; B) schemat obwodu prądowego

D) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresom absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 35: Tabela przyporządkowująca

Sygnał	Operand	Komentarz
F3	I0.0	Zestyk przekaźnika termicznego – typ NC
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego z pulpitu pierwszego – typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku załączającego z pulpitu drugiego – typ NO
S3	I0.3	Zestyk przycisku wyłączającego z pulpitu pierwszego – typ NZ
S4	I0.4	Zestyk przycisku wyłączającego silnik z pulpitu drugiego – typ NZ
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego uzwojenia silnika
H1/H3	Q0.1	Sygnalizator optyczny załączenia silnika na pierwszym i drugim pulpicie
H2/H4	Q0.2	Sygnalizator optyczny wyłączenia silnika na pierwszym i drugim pulpicie

E) Schemat elektryczny dla sterowania silnika elektrycznego napędu za pośrednictwem sterownika PLC



Rysunek 52: Schemat sterowania PLC silnikiem elektrycznym

F) Program użytkowy PLC do sterowania silnikiem elektrycznym napędu zgodnie z opisem w p. B)

⇒ JĘZYK STL

Network 1 Uruchomienie silnika

```

LD S1 : I0.1
O S2 : I0.2
O K1 : Q0.0
A S3 : I0.3
A S4 : I0.4
A F3 : I0.0
= K1 : Q0.0
    
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego uzwojenia silnika
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego z pulpitu pierwszego typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku załączającego z pulpitu drugiego typ NO
S3	I0.3	Zestyk przycisku wyłączającego z pulpitu pierwszego typ NC
S4	I0.4	Zestyk przycisku wyłączającego z pulpitu drugiego typ NC

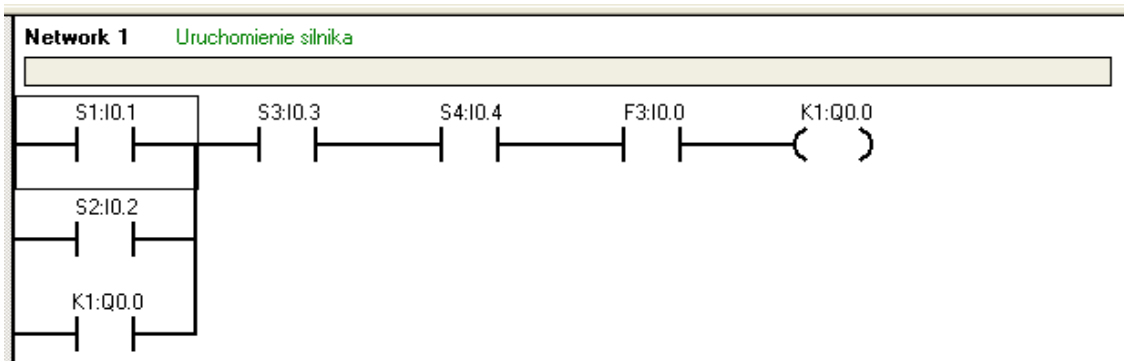
Network 2 Sygnalizacja załączenia silnika

```

LD K1 : Q0.0
= H1 : Q0.1
    
```

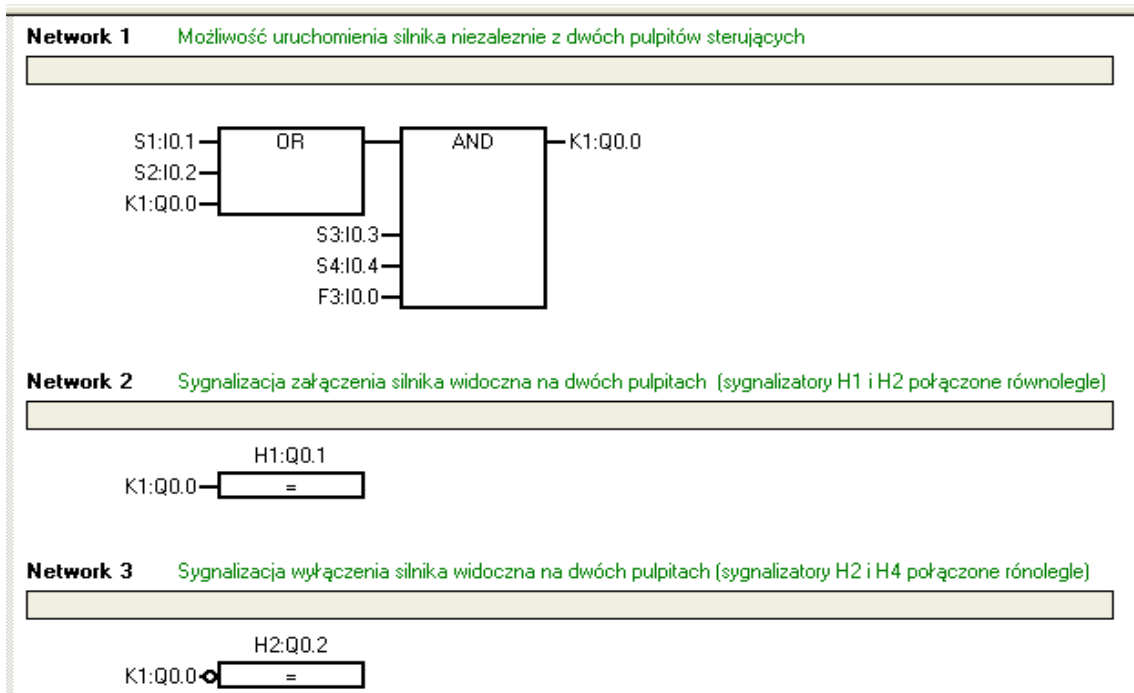
Symbol	Address	Comment
H1	Q0.1	Sygnalizator optyczny załączenia silnika umieszczony na obu pulpitych
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego uzwojenia silnika

⇒ JĘZYK LAD





⇒ JĘZYK FBD



1.4. Układ sterowania silnikiem elektrycznym ze zmianą kierunku obrotów

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceniodawcy

Zrealizować układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu przemysłowego z możliwością wyboru oraz zmiany kierunku obrotów wirnika silnika. Silnik elektryczny napędu powinien być włączany monostabilnie przez operatora procesu przyciskiem załączającym **S1** (lub **S2** w zależności od wyboru kierunku obrotów), i który powinien pracować dopóty, dopóki operator procesu nie pobudzi ręcznie, również monostabilnie przycisku wyłączającego **S3**. Stan pracy silnika elektrycznego: **włączony/wyłączony** powinien być sygnalizowany optycznie na pulpitych sterujących poprzez użycie sygnalizatorów optycznych (tzw. lampek kontrolnych):

- sygnalizator **H1** dla stanu pracy silnika – **włączony**;
- sygnalizator **H2** dla stanu pracy silnika - **wyłączony**.

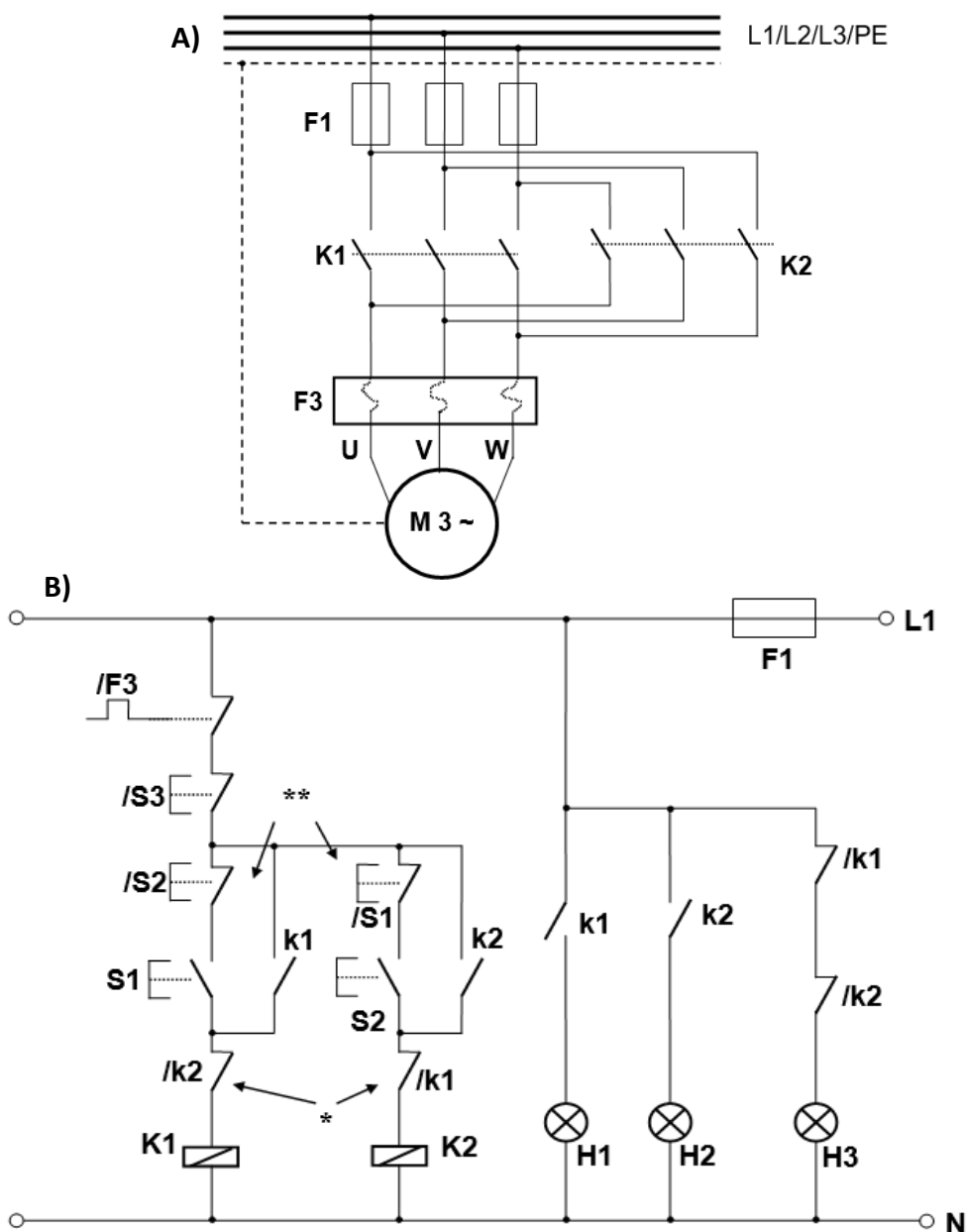
Działanie silnika elektrycznego powinno być dodatkowo zabezpieczone przed przeciążeniem poprzez użycie przekaźnika termicznego **F3**. Dla bezpiecznego działania układu sterowania należy zastosować blokady:

- w sterowaniu stykowym - sprzętowe, tj. stycznikową (*) i za pomocą zestyków przycisków (**);
- w programie użytkowym - programowe.

B) Opis działania układu sterowania silnikiem napędu z samo-potrzymaniem i zmianą kierunku obrotów

Po monostabilnym wybraniu przez operatora przycisku załączającego żądane obroty wirnika silnika, np. przycisku **S1** (obroty prawe) następuje włączenie stycznika **K1**, którego zestyki robocze załączają silnik elektryczny w takiej konfiguracji uzwojeń, aby kierunek obrotów wirnika był zgodny z żądanym. Gaśnie lampka kontrolna zatrzymania silnika **H3** a zapala się lampka kontrolna startu silnika **H1**. Silnik pracuje i jest dodatkowo kontrolowany przez zestyk przełącznika termicznego **F3**. Po monostabilnym naciśnięciu przycisku wyłączającego **S3** następuje wyłączenie **K1** (i w konsekwencji zatrzymanie silnika) oraz **H1** i zapalenie lampki kontrolnej **H3** (to samo nastąpi przy wcześniejszym zadziałaniu przełącznika termicznego **F3**). Jest to moment do wyboru obrotów przeciwnych (obroty lewe) ze sterowaniem stycznika **K2** i kontrolą obrotów przez lampkę kontrolną **H2**. Wcześniejsze naciśnięcie odpowiednio przycisku **S2** lub **S1** bez uprzedniego zatrzymania silnika nie może spowodować włączenia obrotów przeciwnych.

C) Schemat sterowania stykowego silnikiem elektrycznym napędu oraz schemat obwodu prądowego



Rysunek 53: Schematy sterowania silnikiem elektrycznym napędu ze zmianą obrotów: A) schemat sterowania stykowego; B) schemat obwodu prądowego

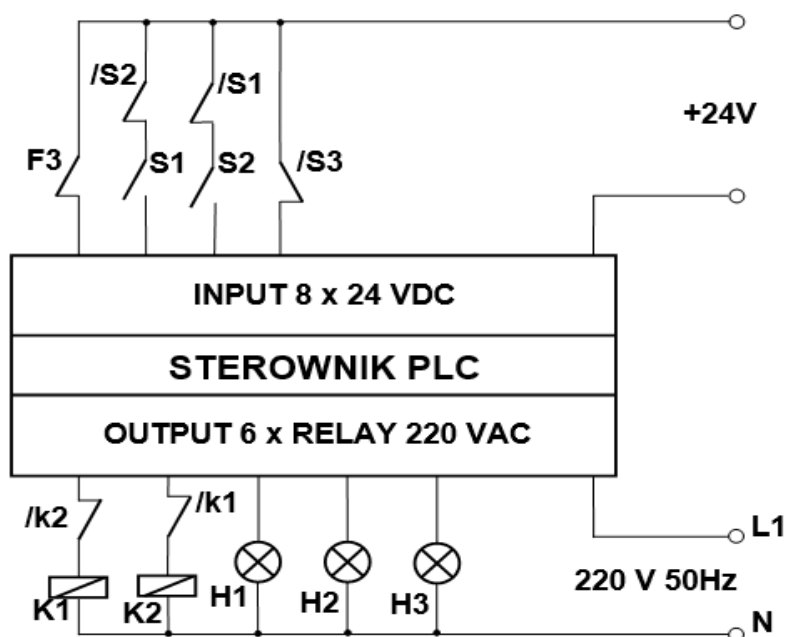
(Na rysunku 53 symbol pojedynczej gwiazdki „ * ” oznacza tzw. blokadę stycznikową, która wyklucza załączenie cewki jednego stycznika (np. **K1**) w przypadku, gdy załączy się cewka drugiego stycznika **K2** i *vice versa*. Działanie z kolei blokady oznaczonej na rysunku 53 symbolem dwóch gwiazdek „ ** ” polega na rozłączeniu obwodu sterującego dla jednego stycznika poprzez użycie zestyku typu NC przycisku sterującego obwodem drugiego).

D) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresom absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 36: Tabela przyporządkowująca

Sygnal	Operand	Komentarz
F3	I0.0	Zestyk przekaźnika termicznego – typ NC
S1	I0.1	zestyk przycisku załączającego silnik z obrotami w prawo – typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku załączającego silnik z obrotami w lewo – typ NO
S3	I0.3	Zestyk przycisku wyłączającego dla obu kierunków wirowania wirnika – typ NZ
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - prawo
K2	Q0.1	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - lewo
H1	Q0.2	Sygnalizator optyczny załączenia - prawo
H2	Q0.3	Sygnalizator optyczny załączenia - lewo
H3	Q0.4	Sygnalizator optyczny wyłączenia silnika

E) Schemat elektryczny dla sterowania silnika elektrycznego napędu za pośrednictwem sterownika PLC



Rysunek 54: Schemat sterowania PLC silnikiem elektrycznym

F) Program użytkowy PLC do sterowania silnikiem elektrycznym napędu zgodnie z opisem w p. B)

⇒ JĘZYK STL

Network 1 Załączenie wirnika w kierunku: PRAWO		
LD	F3 : I0.0	
A	S3 : I0.3	
LDN	S2 : I0.2	
A	S1 : I0.1	
O	K1 : Q0.0	
ALD		
AN	K2 : Q0.1	
=	K1 : Q0.0	
Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - PRAWO
K2	Q0.1	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - LEWO
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego silnik z obrotami w prawo typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku załączającego silnik z obrotami w lewo typ NO
S3	I0.3	Zestyk przycisku wyłączającego dla obu kierunków wirowania typ NC

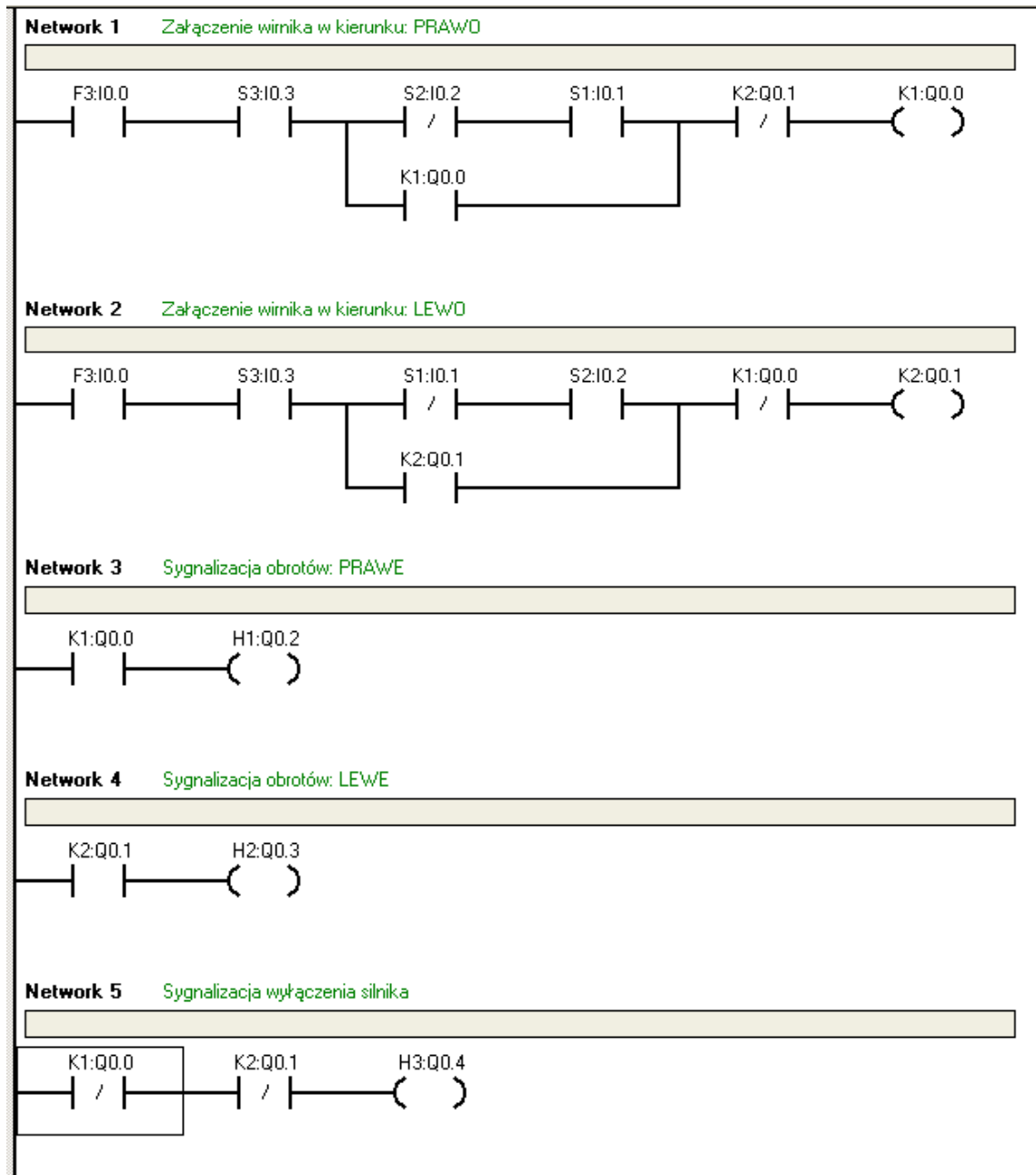
Network 2 Załączenie wirnika w kierunku: LEWO		
LD	F3 : I0.0	
A	S3 : I0.3	
LDN	S1 : I0.1	
A	S2 : I0.2	
O	K2 : Q0.1	
ALD		
AN	K1 : Q0.0	
=	K2 : Q0.1	
Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - PRAWO
K2	Q0.1	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - LEWO
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego silnik z obrotami w prawo typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku załączającego silnik z obrotami w lewo typ NO
S3	I0.3	Zestyk przycisku wyłączającego dla obu kierunków wirowania typ NC

Network 3 Sygnalizacja obrotów: PRAWO		
LD	K1 : Q0.0	
=	H1 : Q0.2	
Symbol	Address	Comment
H1	Q0.2	Sygnalizator optyczny załączenia wirowania - PRAWO
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - PRAWO

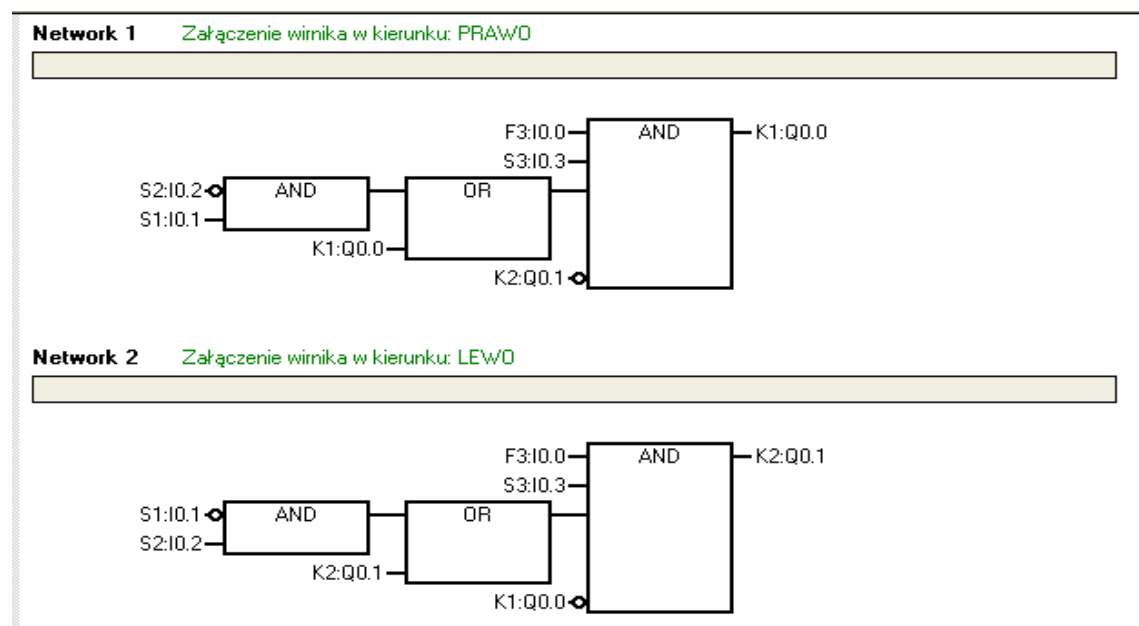
Network 4 Sygnalizacja obrotów: LEWO		
LD	K2 : Q0.1	
=	H2 : Q0.3	
Symbol	Address	Comment
H2	Q0.3	Sygnalizator optyczny załączenia wirowania - LEWO
K2	Q0.1	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - LEWO

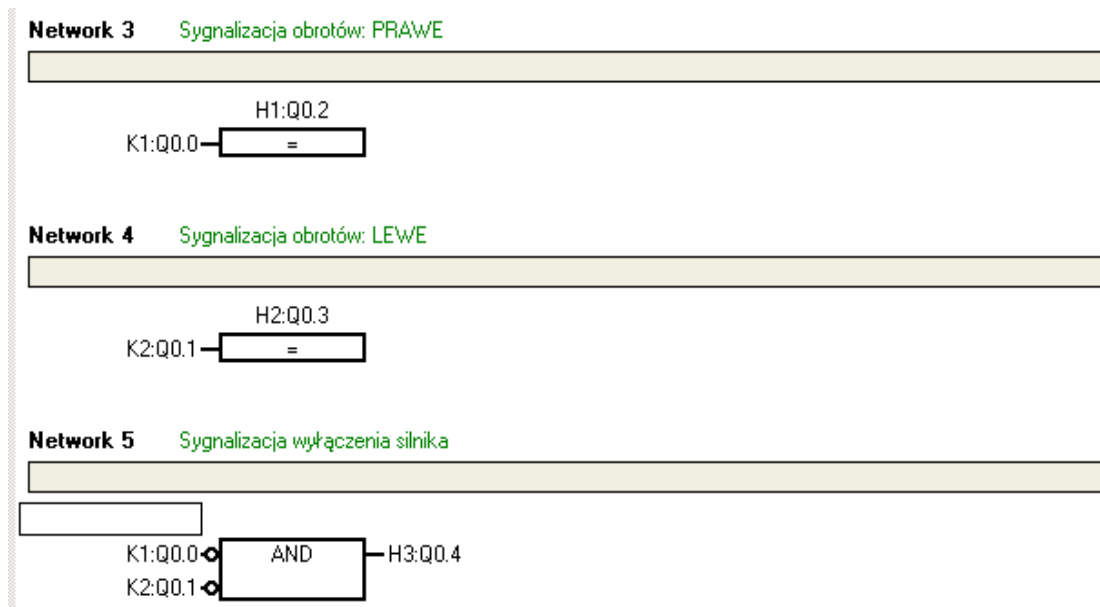
Network 5 Sygnalizacja wyłączenia silnika		
LDN	K1 : Q0.0	
AN	K2 : Q0.1	
=	H3 : Q0.4	
Symbol	Address	Comment
H3	Q0.4	Sygnalizator optyczny wyłączenia silnika
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - PRAWO
K2	Q0.1	Cewka stycznika głównego załączającego kierunek wirowania - LEWO

⇒ JĘZYK LAD



⇒ JĘZYK FBD





1.5. Układ sterowania silnikiem napędu z rozruchem automatycznym gwiazda - trójkąt

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceniodawcy

Zrealizować układ sterowania z zastosowaniem automatycznego przełączania konfiguracji uzwojeń silnika gwiazda - trójkąt. Sterowanie odbywa się z pulpitu sterującego. Silnik elektryczny napędu włączany jest przez operatora przyciskiem załączającym **S1** pierwotnie w układzie uzwojeń gwiazdy. Po określonym czasie, uzwojenia silnika napędu przełączane są automatycznie w stan konfiguracji trójkąta. Rodzaj pracy silnika elektrycznego w danej konfiguracji uzwojeń sygnalizowany jest na pulpicie sterującym optycznie, poprzez użycie lampek kontrolnych:

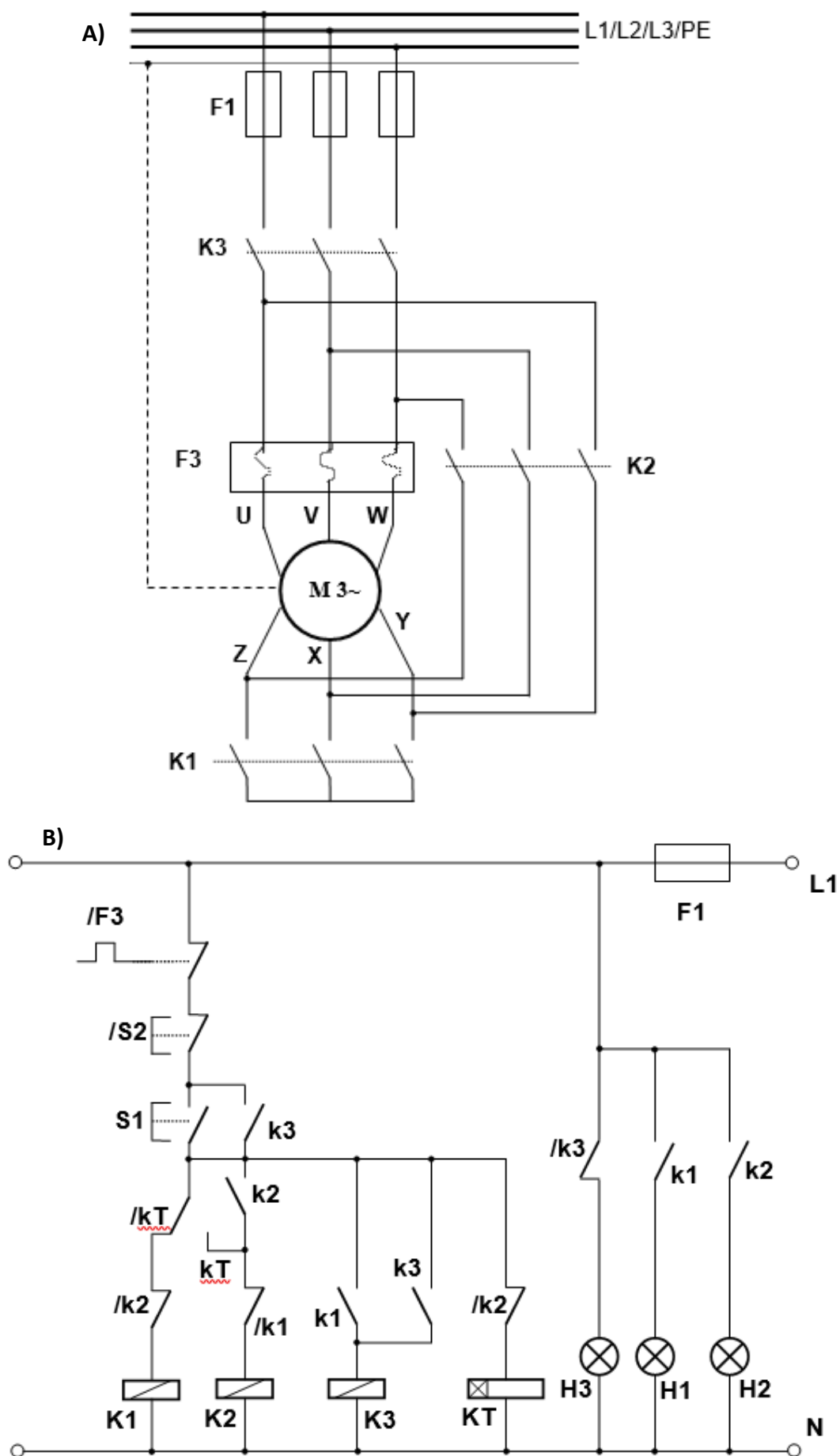
- lampka kontrolna **H1** – włączona konfiguracja gwiazdy;
- lampka kontrolna **H2** - włączona konfiguracja trójkąta;
- lampka kontrolna **H3** – silnik napędu wyłączony.

Silnik elektryczny napędu jest dodatkowo zabezpieczony przed przeciążeniem poprzez użycie przekaźnika termicznego **F3** a wyłączany w dowolnym momencie przez użycie przycisku sterującego **S2**.

B) Opis działania układu sterowania silnikiem napędu z rozruchem automatycznym gwiazda - trójkąt

Po naciśnięciu przez operatora przycisku załączającego **S1** (na pulpicie sterującym) następuje włączenie stycznika **K1** dla konfiguracji uzwojeń silnika w układzie gwiazdy i włączenie stycznika głównego **K3**, którego zestyki robocze dostarczają do silnika elektrycznego prądu rozruchowego. Zostaje wygaszona lampka kontrolna zatrzymania silnika **H3** a zapala się lampka kontrolna **H1**. Silnik rozpoczyna pracę w konfiguracji gwiazdy i jest dodatkowo kontrolowany przez przekaźnik termiczny **F3**. Po upływie ustalonego czasu $t = 5s$ następuje automatyczne przełączenie konfiguracji uzwojeń silnika z gwiazdy na konfigurację trójkąta poprzez wysterowanie stycznika **K2** (a wyłączenie **K1**). Sygnalizowane jest to poprzez zapalenie **H2** i wyłączenie **H1**. Stycznik główny **K3** jest w dalszym ciągu sterowany. Naciśnięcie przycisku **S2** w dowolnym momencie powoduje wyłączenie silnika w obu trybach i zapalenie **H3**. To samo wystąpi przy wcześniejszym zadziałaniu **F3**.

C) Schemat sterowania stykowym silnikiem elektrycznym napędu oraz schemat obwodu prądowego



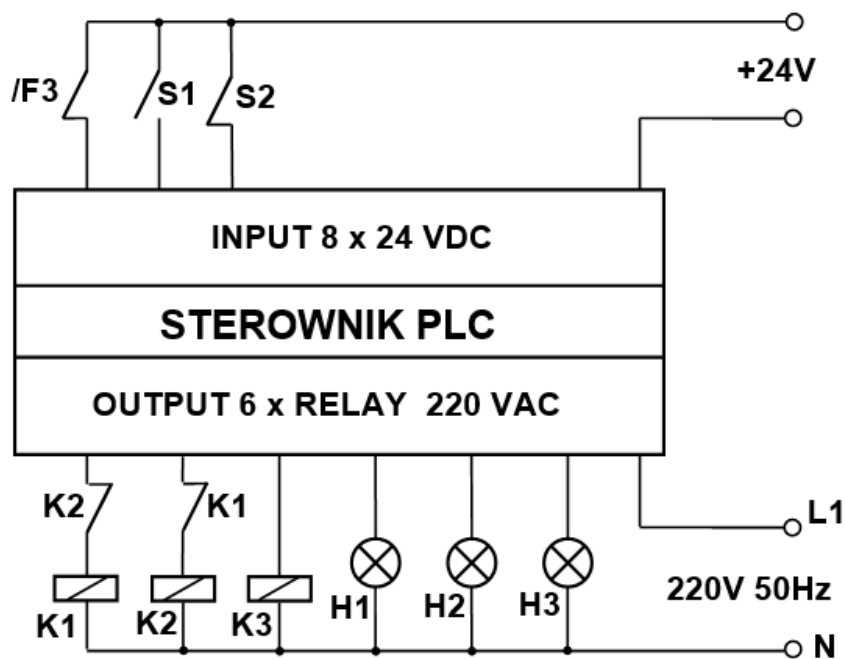
Rysunek 55: Schematy sterowania silnikiem elektrycznym napędu w konfiguracji gwiazda/trójkąt:
 A) schemat sterowania stykowego; B) schemat obwodu prądowego

D) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresom absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 37: Tabela przyporządkująca

Sygnał	Operand	Komentarz
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego – typ NC
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego w układzie gwiazdy – typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie gwiazdy
K2	Q0.1	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie trójkąta
K3	Q0.2	Cewka stycznika głównego
H1	Q0.3	Sygnalizacja optyczna załączenia silnika w układzie gwiazdy
H2	Q0.4	Sygnalizacja optyczna załączenia silnika w układzie trójkąta
H3	Q0.5	Sygnalizacja optyczna wyłączenia silnika
KT	T40	Timer (czasomierz o nastawie 5s) realizujący opóźnienie 5sekund

E) Schemat elektryczny dla sterowania silnika elektrycznego napędu za pośrednictwem sterownika PLC



Rysunek 56: Schemat sterowania PLC silnikiem elektrycznym

F) Program użytkowy PLC do sterowania silnikiem elektrycznym napędu zgodnie z opisem w p. B)

⇒ JĘZYK STL

Network 1 Realizacja sterowania w układzie gwiazdy

```

LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LD    K3 : Q0.2
O     S1 : I0.1
ALD
AN    KT : T40
AN    K2 : Q0.1
=     K1 : Q0.0
    
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie gwiazdy
K2	Q0.1	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie trójkąta
K3	Q0.2	Cewka stycznika głównego
KT	T40	Timer realizujący opóźnienie 5s
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego w układzie gwiazdy - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 2 Realizacja przełączenia na układ trójkąta

```

LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LD    K3 : Q0.2
O     S1 : I0.1
ALD
LD    KT : T40
O     K2 : Q0.1
ALD
AN    K1 : Q0.0
=     K2 : Q0.1
    
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie gwiazdy
K2	Q0.1	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie trójkąta
K3	Q0.2	Cewka stycznika głównego
KT	T40	Timer realizujący opóźnienie 5s
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego w układzie gwiazdy - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 3 Realizacja sterowania stycznika głównego z podtrzymaniem

```

LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
A     S1 : I0.1
LD    K1 : Q0.0
O     K3 : Q0.2
ALD
=     K3 : Q0.2
    
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie gwiazdy
K3	Q0.2	Cewka stycznika głównego
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego w układzie gwiazdy - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 4 Realizacja timera opóźniającego 5 sekund

```

LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LDN   K3 : Q0.2
O     S1 : I0.1
ALD
AN    K2 : Q0.1
TON   KT : T40, 50
    
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego typ NC
K2	Q0.1	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie trójkąta
K3	Q0.2	Cewka stycznika głównego
KT	T40	Timer realizujący opóźnienie 5s
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego w układzie gwiazdy - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 5 Sygnalizacja optyczna wyłączenia silnika

LDN K3 : Q0 . 2
= H3 : Q0 . 5

Symbol	Address	Comment
H3	Q0.5	Sygnalizacja optyczna wyłączenia silnika
K3	Q0.2	Cewka stycznika głównego

Network 6 Sygnalizacja optyczna pracy silnika w układzie gwiazdy

ID K1 : Q0 . 0
= H1 : Q0 . 3

Symbol	Address	Comment
H1	Q0.3	Sygnalizacja optyczna załączenia silnika w układzie gwiazdy
K1	Q0.0	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie gwiazdy

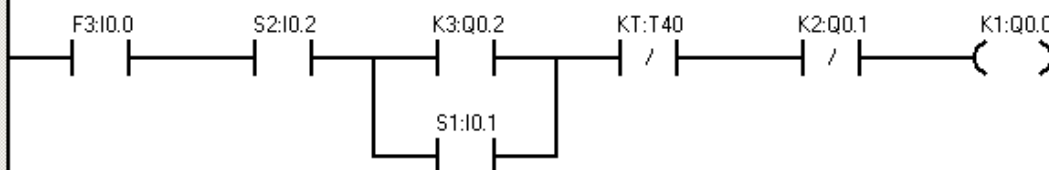
Network 7 Sygnalizacja pracy silnika w układzie trójkąta

ID K2 : Q0 . 1
= H2 : Q0 . 4

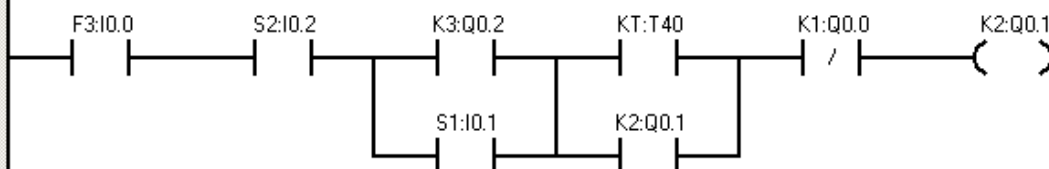
Symbol	Address	Comment
H2	Q0.4	Sygnalizacja optyczna załączenia silnika
K2	Q0.1	Cewka stycznika konfigurującego silnik w układzie trójkąta

⇒ JĘZYK LAD

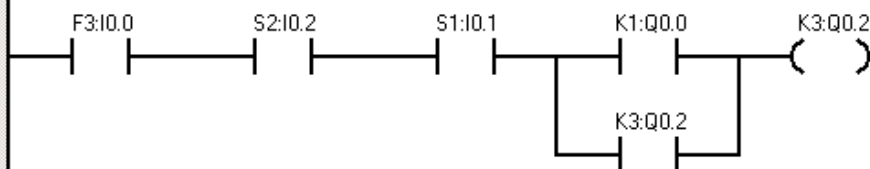
Network 1 Realizacja sterowania w układzie gwiazdy



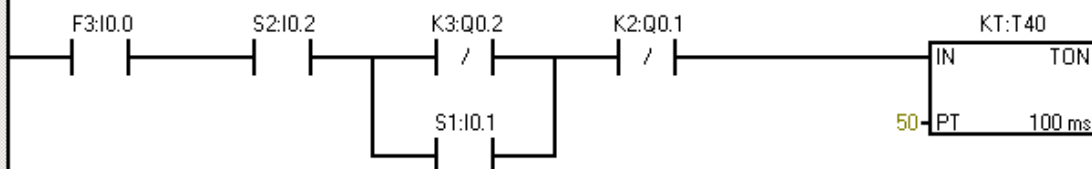
Network 2 Realizacja przełączenia na układ trójkąta



Network 3 Realizacja sterowania stycznika głównego z podtrzymaniem

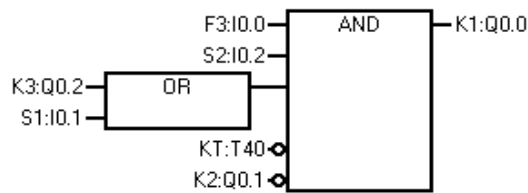


Network 4 Realizacja timera opóźniającego 5 sekund

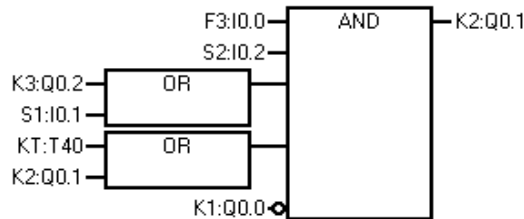


⇒ JĘZYK FBD

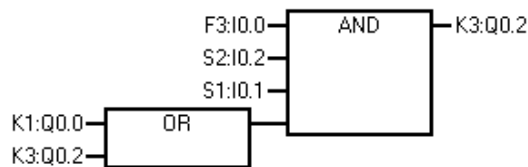
Network 1 Realizacja sterowania w układzie gwiazdy



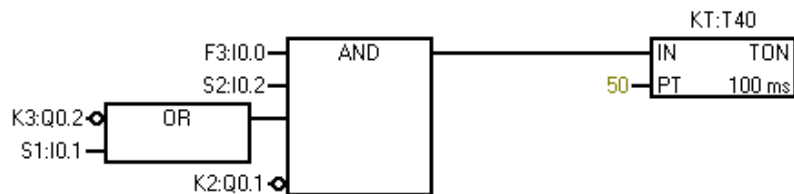
Network 2 Realizacja przełączenia na układ trójkąta



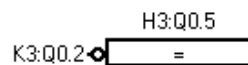
Network 3 Realizacja sterowania stycznika głównego z podtrzymaniem



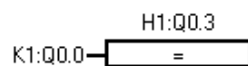
Network 4 Realizacja timera opóźniającego 5 sekund



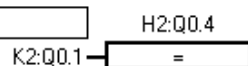
Network 5 Sygnalizacja optyczna wyłączenia silnika



Network 6 Sygnalizacja optyczna pracy silnika w układzie gwiazdy



Network 7 Sygnalizacja pracy silnika w układzie trójkąta



1.6. Układ sterowania silnikiem napędu ze zmianą prędkości wirnika w układzie Dahlandera

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceniodawcy

Zrealizować układ sterowania silnikiem elektrycznym ze zmianą prędkości obrotowej silnika w układzie Dahlandera. Sterowanie powinno odbywać się z pulpitu sterującego. Silnik powinien być włączany przez operatora monostabilnie przyciskiem załączającym **S1**, który ma spowodować pracę silnika napędu z małą prędkością obrotową (tzw. pierwsza prędkość obrotowa). Następnie po wybraniu przez operatora przycisku **S2** silnik napędu powinien osiągnąć tzw. drugą prędkość obrotową. Stan pracy silnika napędu powinien być sygnalizowany na pulpicie sterującym poprzez użycie lampek kontrolnych:

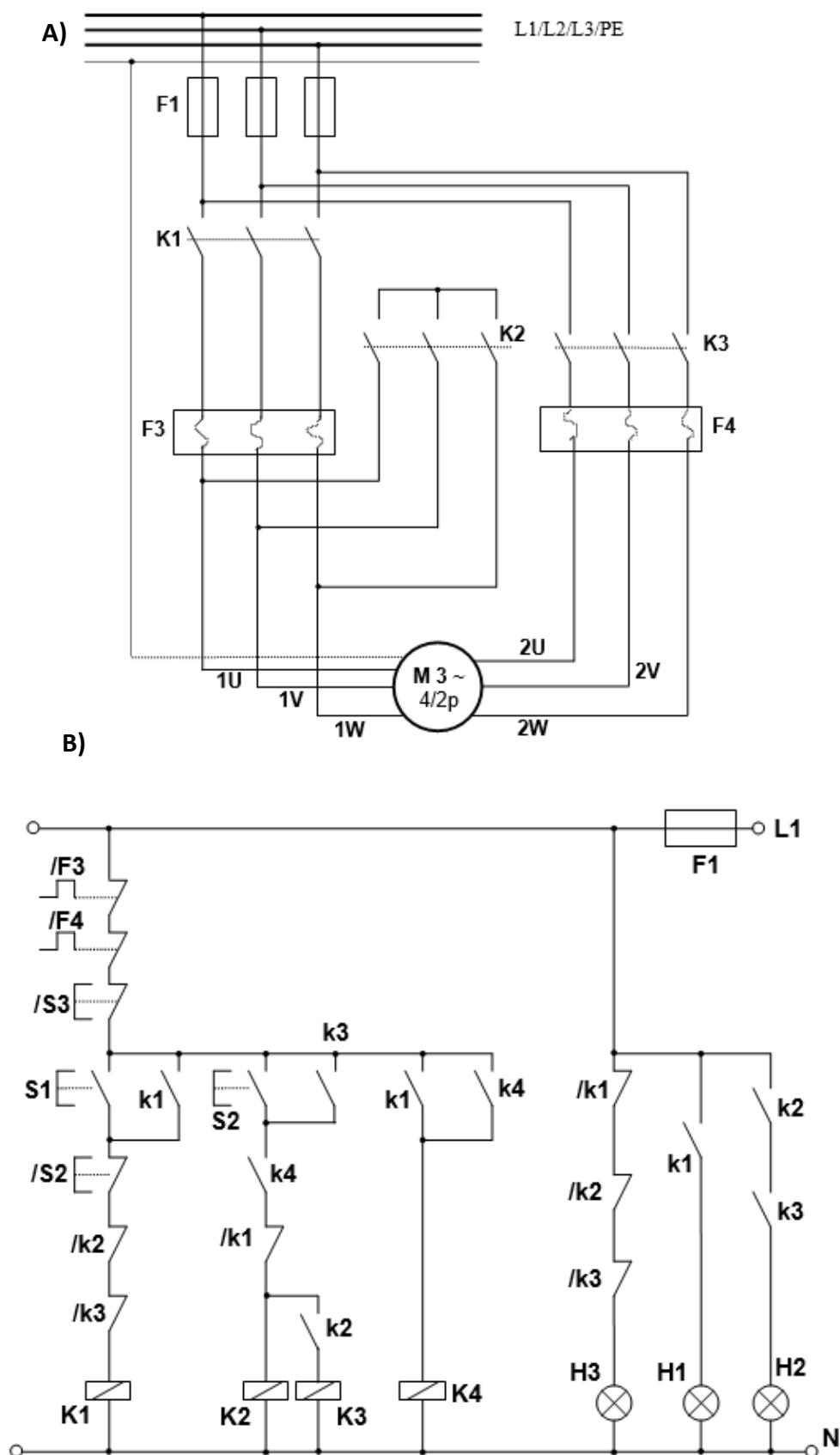
- lampka kontrolna **H1** – silnik włączony z pierwszą prędkością obrotową;
- lampka kontrolna **H2** – silnik włączony z drugą prędkością obrotową;
- lampka kontrolna **H3** – silnik wyłączony.

Dodatkowo silnik elektryczny napędu powinien być zabezpieczony przed przeciążeniem przekaźnikami termicznymi **F3** i **F4** i wyłączany w dowolnym momencie przyciskiem sterującym **S3**. Powinna być również zastosowana sprzętowa i programowa kontrola działania styczników sterujących. Uwaga! Powrót z drugiej prędkości obrotowej silnika do pierwszej jest możliwy tylko po uprzednim wyłączeniu silnika przyciskiem **S3**.

B) Opis działania układu sterowania silnikiem napędu z rozruchem w układzie Dahlandera

Po monostabilnym naciśnięciu przycisku załączającego **S1** następuje włączenie stycznika **K1** i silnik elektryczny napędu zaczyna obracać się z pierwszą (tzw. małą) prędkością obrotową. Jest to sygnalizowane przez zapalenie lampki kontrolnej **H1**. Praca silnika jest dodatkowo kontrolowana przez przekaźnik termiczny **F3**. Naciśnięcie monostabilne przycisku **S2** spowoduje wyłączenie stycznika **K1** (a w konsekwencji małej prędkości obrotowej silnika) i włączenie styczników **K2** i **K3**. Uzwojenia stojana silnika elektrycznego zostaną wtedy skojarzone w tzw. podwójną gwiazdę co spowoduje, że silnik napędu rozwinie drugą większą (tzn. znamionową) prędkość obrotową, co będzie zasygnalizowane poprzez zapalenie lampki kontrolnej **H2**. Kontrola termiczna płynącego prądu przez uzwojenia silnika odbędzie się za pomocą przekaźnika termicznego **F4**. Naciśnięcie w dowolnym momencie przycisku sterującego **S3** spowoduje wyłączenie silnika z pracy w obu trybach i zapalenie lampki kontrolnej **H3**. (To samo nastąpi przy wcześniejszym rozwarciu zestyków przekaźników termicznych **F3** lub **F4**). Jeżeli jako pierwszy zostanie naciśnięty przycisk **S2**, to silnik elektryczny napędu pozostanie dalej w stanie spoczynku. Zapewniają to uwarunkowania układu sterowania (stycznik pomocniczy **K4**).

C) Schemat sterowania stykowym silnikiem elektrycznym napędu oraz schemat obwodu prądowego



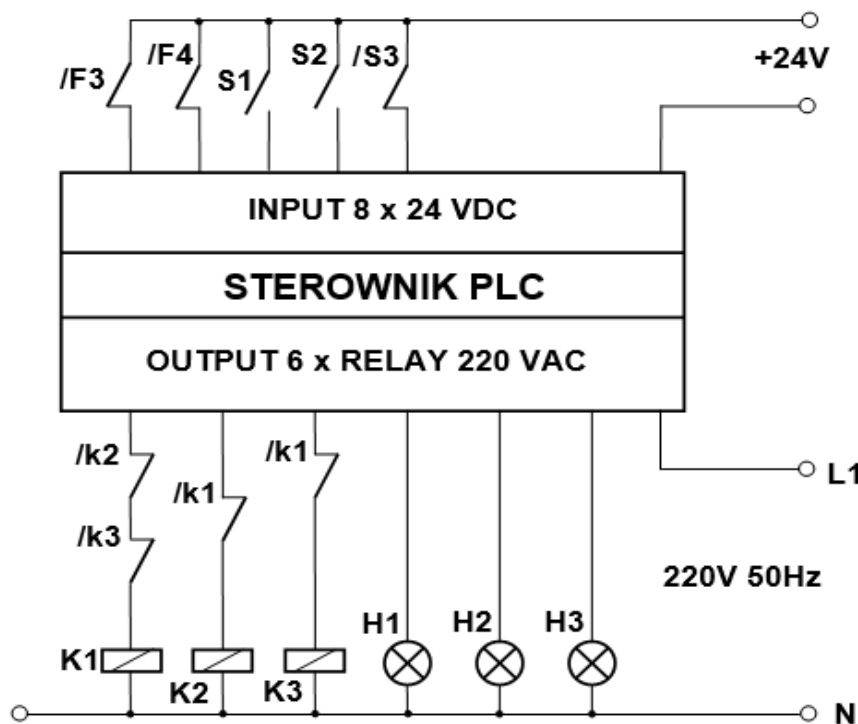
Rysunek 57: Schematy sterowania silnikiem elektrycznym napędu w układzie Dahlandera:
 A) schemat sterowania stykowego; B) schemat obwodu prądowego

D) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresem absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 38: Tabela przyporządkowująca

Sygnal	Operand	Komentarz
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego nr 1 – typ NC
F4	I0.1	Zestyk przełącznika termicznego nr 2 – typ NC
S1	I0.2	Zestyk przycisku załączającego silnik z małą prędkością obrotową – typ NO
S2	I0.3	Zestyk przycisku załączającego silnik z dużą prędkością obrotową – typ NO
S3	I0.4	Zestyk przycisku wyłączającego silnik – typu NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika dla małej prędkości obrotowej
K2	Q0.1	Cewka stycznika dla układu „małej gwiazdy”
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla dużej prędkości obrotowej
K4	M0.0	Cewka stycznika pomocniczego (w programie PLC występuje jako znacznik – rys. 6.18 nie zawiera tego elementu wyjścia sterownika)
H1	Q0.3	Sygnalizacja optyczna załączenia silnika w układzie małej prędkości obrotowej
H2	Q0.4	Sygnalizacja optyczna załączenia silnika w układzie dużej prędkości obrotowej
H3	Q0.5	Sygnalizacja optyczna wyłączenia silnika

E) Schemat elektryczny dla sterowania silnika elektrycznego napędu za pośrednictwem sterownika PLC



Rysunek 58: Schemat sterowania PLC silnikiem elektrycznym

F) Program użytkowy PLC do sterowania silnikiem elektrycznym napędu zgodnie z opisem w p. B)

⇒ JĘZYK STL

Network 1 Załączenie silnika z małą prędkością obrotową

```
LD    F3 : I0.0
A     F4 : I0.1
A     S3 : I0.4
LD    S1 : I0.2
O     K1 : Q0.0
ALD
A     S2 : I0.3
AN    K2 : Q0.1
AN    K3 : Q0.2
=     K1 : Q0.0
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego nr 1? typ NC
F4	I0.1	Zestyk przełącznika termicznego nr 2 - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika dla małej prędkości obrotowej
K2	Q0.1	Cewka stycznika konfigurującego uzwojenia w układzie „małej gwiazdy”
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla dużej prędkości obrotowej
S1	I0.2	Zestyk przycisku załączającego silnik z małą prędkością obrotową - typ NO
S2	I0.3	Zestyk przycisku załączającego silnik z dużą prędkością obrotową - typ NO
S3	I0.4	Zestyk przycisku wyłączającego silnik - typu NC

Network 2 Załączenie silnika z dużą prędkością obrotową

```
LDN   F3 : I0.0
AN    F4 : I0.1
AN    S3 : I0.4
LDN   S2 : I0.3
O     K3 : Q0.2
ALD
A     K4 : M0.0
AN    K1 : Q0.0
=     K2 : Q0.1
A     K2 : Q0.1
=     K3 : Q0.2
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego nr 1? typ NC
F4	I0.1	Zestyk przełącznika termicznego nr 2 - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika dla małej prędkości obrotowej
K2	Q0.1	Cewka stycznika konfigurującego uzwojenia w układzie „małej gwiazdy”
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla dużej prędkości obrotowej
K4	M0.0	Cewka stycznika pomocniczego
S2	I0.3	Zestyk przycisku załączającego silnik z dużą prędkością obrotową - typ NO
S3	I0.4	Zestyk przycisku wyłączającego silnik - typu NC

Network 3 Realizacja blokady załączenia dużej prędkości obrotowej jako pierwszej

```
LD    F3 : I0.0
A     F4 : I0.1
A     S3 : I0.4
LD    K1 : Q0.0
O     K4 : M0.0
ALD
=     K4 : M0.0
```

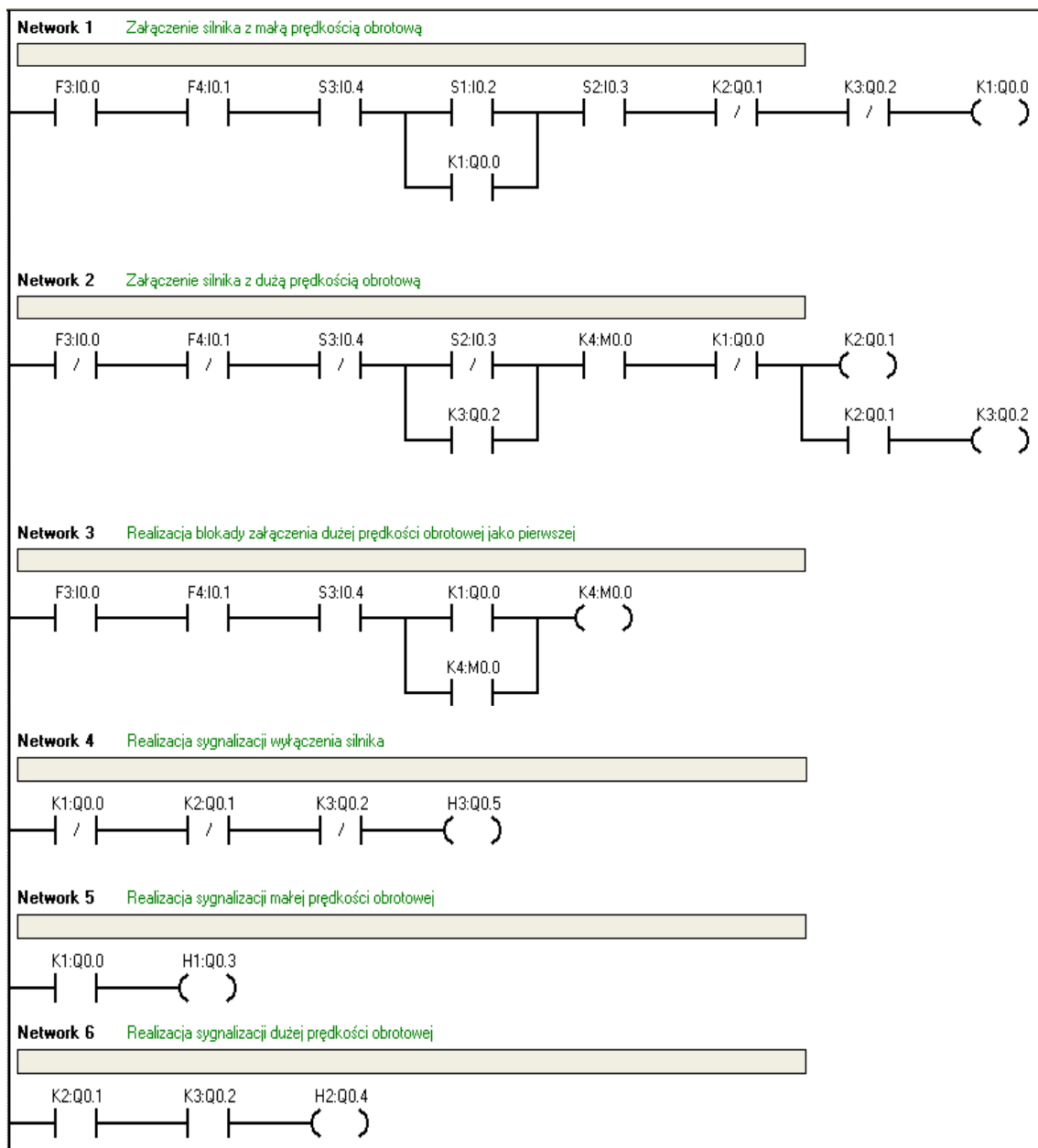
Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego nr 1? typ NC
F4	I0.1	Zestyk przełącznika termicznego nr 2 - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika dla małej prędkości obrotowej
K4	M0.0	Cewka stycznika pomocniczego
S3	I0.4	Zestyk przycisku wyłączającego silnik - typu NC

Network 4 Realizacja sygnalizacji wyłączenia silnika

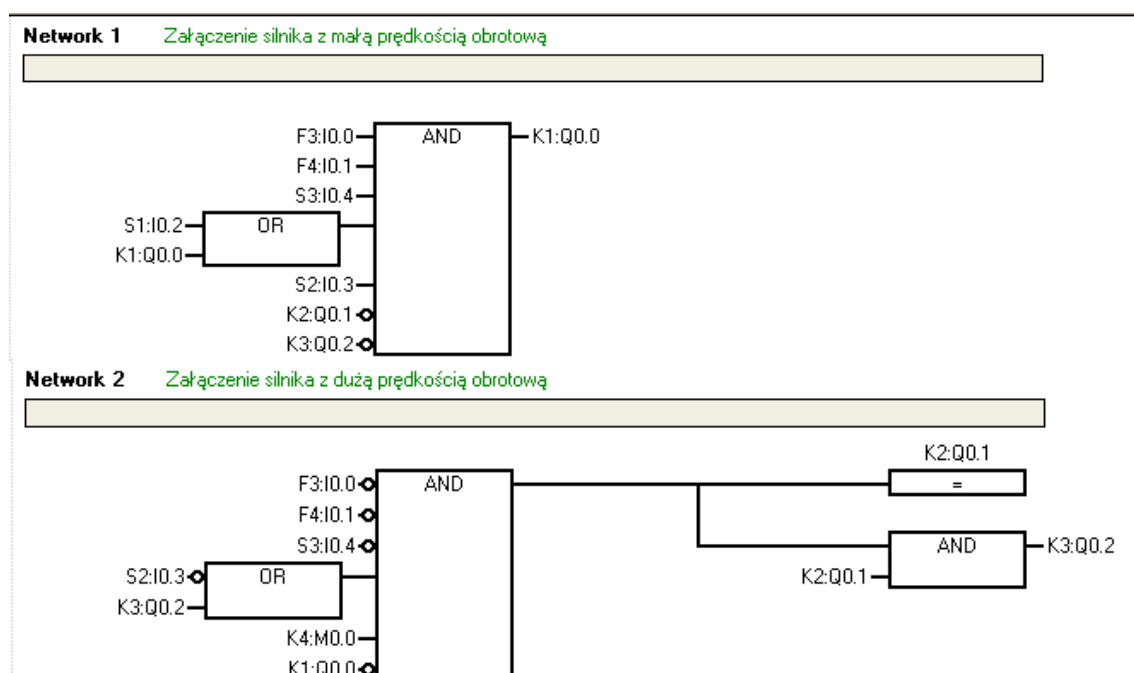
```
LDN   K1 : Q0.0
AN    K2 : Q0.1
AN    K3 : Q0.2
=     H3 : Q0.5
```

Symbol	Address	Comment
H3	Q0.5	Sygnalizacja optyczna wyłączenia silnika
K1	Q0.0	Cewka stycznika dla małej prędkości obrotowej
K2	Q0.1	Cewka stycznika konfigurującego uzwojenia w układzie „małej gwiazdy”
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla dużej prędkości obrotowej

⇒ JĘZYK LAD



⇒ JĘZYK FBD



1.7. Układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu - pierścieniowym

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceniodawcy

Zrealizować układ sterowania silnikiem elektrycznym napędu - pierścieniowym z bocznikowaniem rezystancji rozruchowych za pośrednictwem styczników uruchamianych programowo przez układ sterowania. Sterowanie układem silnika pierścieniowego powinno odbywać się z pulpitu sterującego. Silnik powinien być włączany przyciskiem załączającym **S1**, który zainicjuje łagodny rozruch silnika elektrycznego napędu. Stan pracy silnika powinien być sygnalizowany na pulpicie sterującym poprzez użycie lampek kontrolnych:

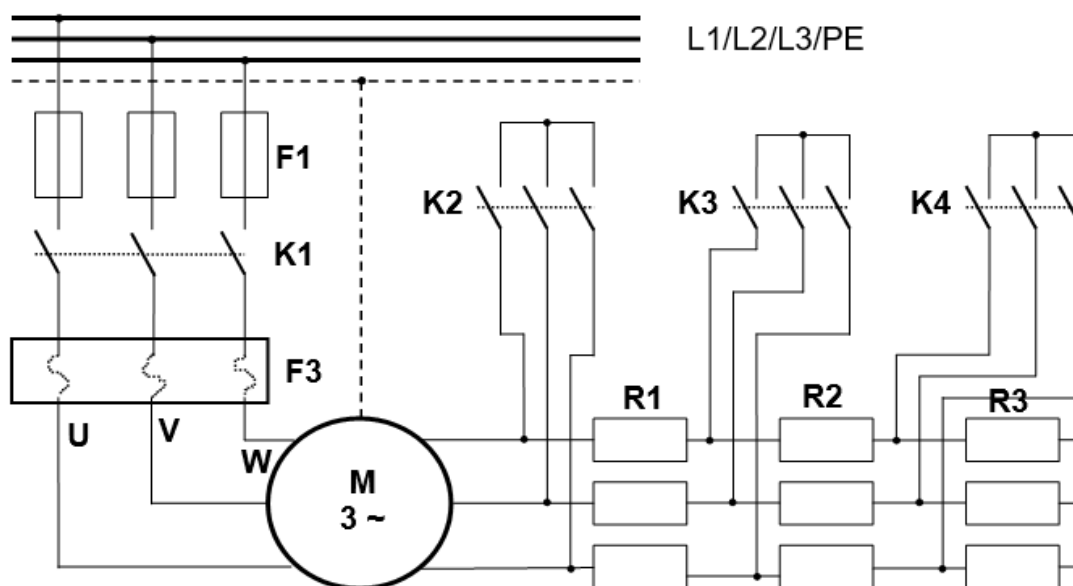
- lampka kontrolna **H1** – silnik włączony;
- lampka kontrolna **H2** – silnik wyłączony.

Silnik napędu powinien być dodatkowo zabezpieczony przed przeciążeniem przez użycie przekaźnika termicznego **F3** i wyłączany przez użycie przycisku wyłączającego **S2**. Należy zastosować programową kontrolę działania styczników sterujących pracą układu.

B) Opis działania układu sterowania silnikiem napędu - pierścieniowym

Po naciśnięciu przez operatora procesu przycisku załączającego **S1** (na pulpicie sterującym) następuje włączenie stycznika **K1** i silnik elektryczny napędu zaczyna się obracać, co jest zasygnalizowane przez zapalenie lampki kontrolnej **H1**. Silnik podczas pracy jest dodatkowo kontrolowany przez przekaźnik termiczny **F3**. Po czasie $t_3=2s$ bocznikowana jest trzecia sekcja rezystorów **R3** poprzez zadziałanie stycznika **K4**, następnie kolejno po czasie $t_2=2s$ bocznikowana jest druga sekcja rezystorów **R2** poprzez zadziałanie stycznika **K3** i jako ostatnia, po czasie $t_1=2s$ bocznikowana jest pierwsza sekcja rezystorów **R1** za pośrednictwem stycznika **K2**. Silnik napędu pracuje teraz ze znamionową prędkością obrotową. Naciśnięcie w dowolnym momencie przycisku wyłączającego **S2** (lub zadziałanie przekaźnika termicznego **F3**) spowoduje natychmiastowe wyłączenie silnika napędu, co będzie zasygnalizowane zapaleniem lampki kontrolnej **H2**.

C) Schemat obwodu prądowego oraz schemat sterowania stykowym silnikiem elektrycznym napędu



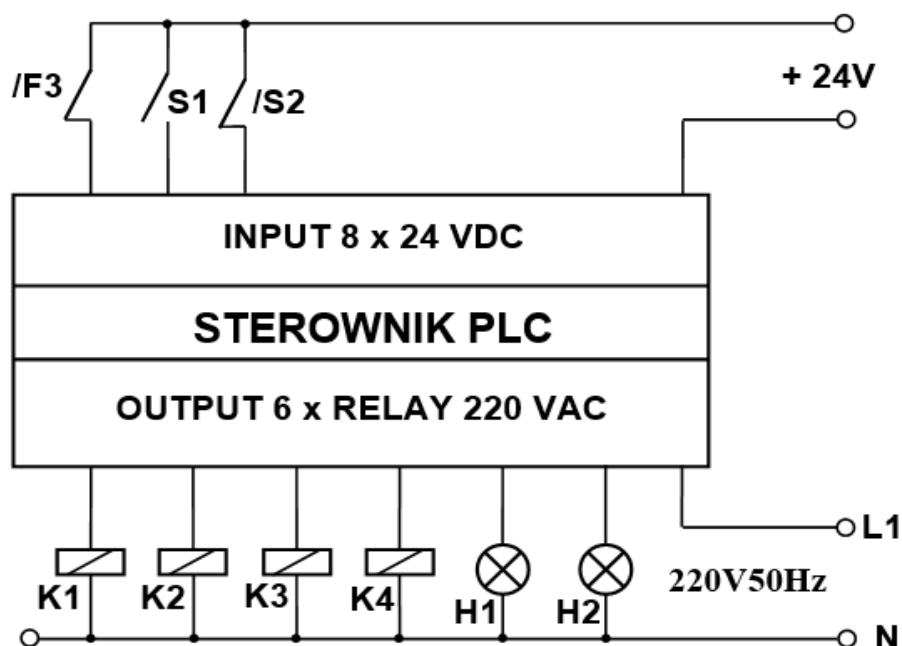
Rysunek 59: Schemat obwodu prądowego sterowania silnikiem elektrycznym napędu - pierścieniowym

D) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresom absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 39: Tabela przyporządkowująca

Sygnal	Operand	Komentarz
F3	I0.0	Zestyk przekaźnika termicznego – typ NC
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego – typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego – typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego
K2	Q0.1	Cewka stycznika dla R1
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla R2
K4	Q0.3	Cewka stycznika dla R3
H1	Q0.4	Sygnalizacja optyczna załączenia silnika
H2	Q0.5	Sygnalizacja optyczna wyłączenia silnika
KT1	T40	Timer 2 sekundy
KT2	T50	Timer 2 sekundy
KT3	T60	Timer 2 sekundy

E) Schemat elektryczny dla sterowania silnika elektrycznego napędu za pośrednictwem sterownika PLC



Rysunek 60: Schemat sterowania PLC silnikiem elektrycznym

F) Program użytkowy PLC do sterowania silnikiem elektrycznym napędu zgodnie z opisem w p. B)

⇒ JĘZYK STL

Network 1 Realizacja załączania stycznika głównego i ostatniej sekcji

```
LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LD    S1 : I0.1
O     K1 : Q0.0
ALD
=     K1 : Q0.0
LD    KT1 : T40
O     K2 : Q0.1
ALD
=     K2 : Q0.1
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przekaźnika termicznego - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego
K2	Q0.1	Cewka stycznika dla R1
KT1	T40	Timer 2 sekundy
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 2 Realizacja załączania drugiej sekcji

```
LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LD    S1 : I0.1
O     K1 : Q0.0
ALD
AN    K2 : Q0.1
LD    KT2 : T50
O     K3 : Q0.2
ALD
=     K3 : Q0.2
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przekaźnika termicznego - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego
K2	Q0.1	Cewka stycznika dla R1
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla R2
KT2	T50	Timer 2 sekundy
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 3 Realizacja opóźnienia dla sekcji ostatniej

```
LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LD    S1 : I0.1
O     K1 : Q0.0
ALD
AN    K2 : Q0.1
TON   KT1 : T40, 20
```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przekaźnika termicznego - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego
K2	Q0.1	Cewka stycznika dla R1
KT1	T40	Timer 2 sekundy
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 4 Realizacja załączenia sekcji pierwszej

```

LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LD    S1 : I0.1
O     K1 : Q0.0
ALD
AN    K3 : Q0.2
LD    KT3 : T60
O     K4 : Q0.3
ALD
=     K4 : Q0.3

```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla R2
K4	Q0.3	Cewka stycznika dla R3
KT3	T60	Timer 2 sekundy
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 5 Realizacja opóźnienia dla sekcji drugiej

```

LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LD    S1 : I0.1
O     K1 : Q0.0
ALD
AN    K3 : Q0.2
A     K4 : Q0.3
TON   KT2 : T50, 20

```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla R2
K4	Q0.3	Cewka stycznika dla R3
KT2	T50	Timer 2 sekundy
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 6 Realizacja opóźnienia dla sekcji pierwszej

```

LD    F3 : I0.0
A     S2 : I0.2
LD    S1 : I0.1
O     K1 : Q0.0
ALD
AN    K3 : Q0.2
A     K1 : Q0.0
AN    K4 : Q0.3
TON   KT3 : T60, 20

```

Symbol	Address	Comment
F3	I0.0	Zestyk przełącznika termicznego - typ NC
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego
K3	Q0.2	Cewka stycznika dla R2
K4	Q0.3	Cewka stycznika dla R3
KT3	T60	Timer 2 sekundy
S1	I0.1	Zestyk przycisku załączającego - typ NO
S2	I0.2	Zestyk przycisku wyłączającego - typ NC

Network 7 sygnalizacja pracy silnika

```

LD    K1 : Q0.0
=     H1 : Q0.4

```

Symbol	Address	Comment
H1	Q0.4	Sygnalizacja optyczna załączenia silnika
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego

Network 8 Sygnalizacja zatrzymania silnika

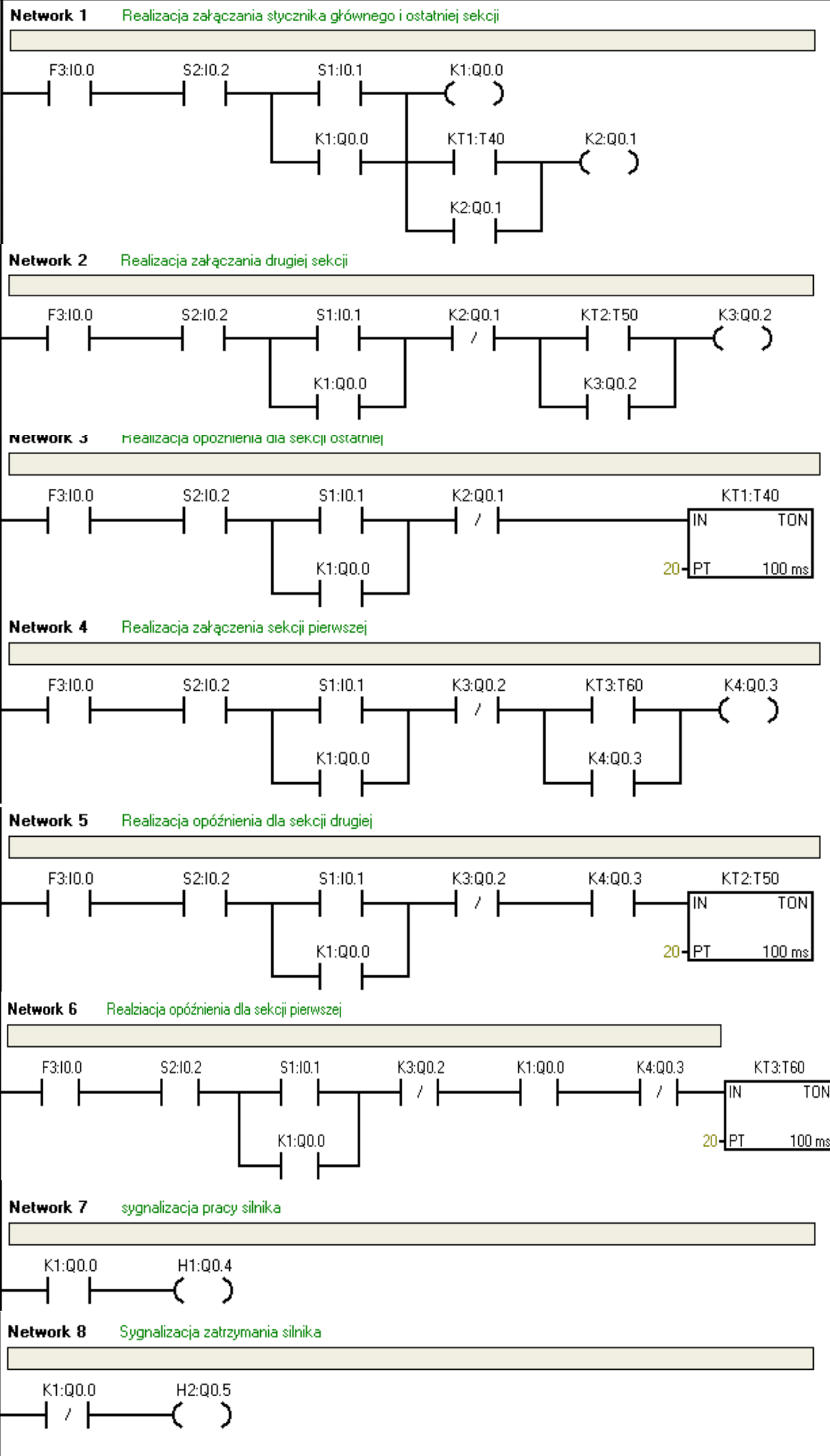
```

LDN   K1 : Q0.0
=     H2 : Q0.5

```

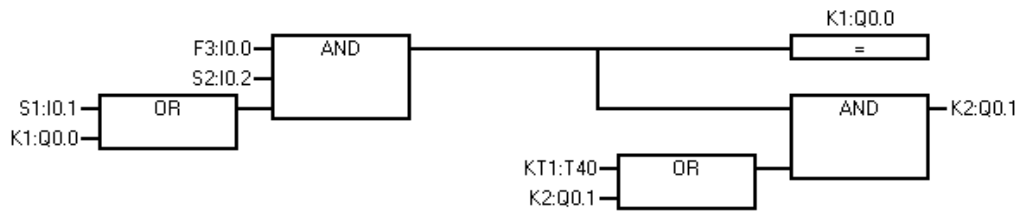
Symbol	Address	Comment
H2	Q0.5	Sygnalizacja optyczna wyłączenia silnika
K1	Q0.0	Cewka stycznika głównego

⇒ JĘZYK LAD

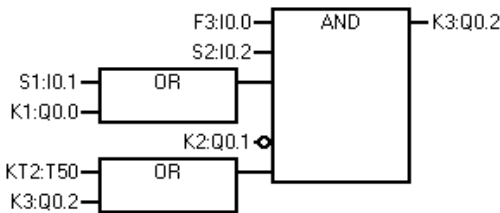


⇒ JĘZYK FBD

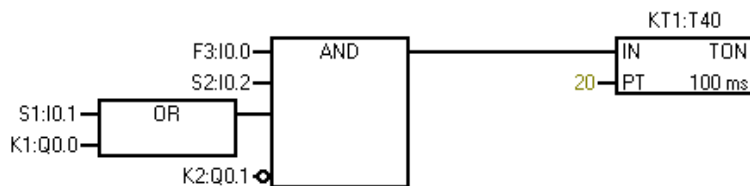
Network 1 Realizacja załączania stycznika głównego i ostatniej sekcji



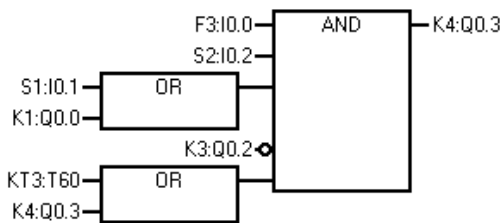
Network 2 Realizacja załączania drugiej sekcji



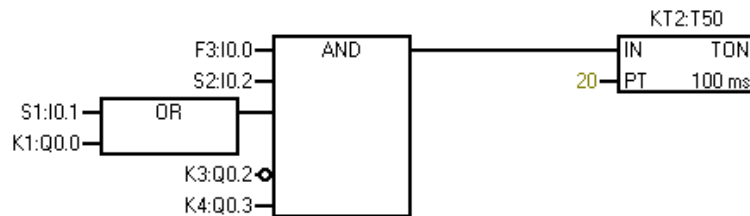
Network 3 Realizacja opóźnienia dla sekcji ostatniej



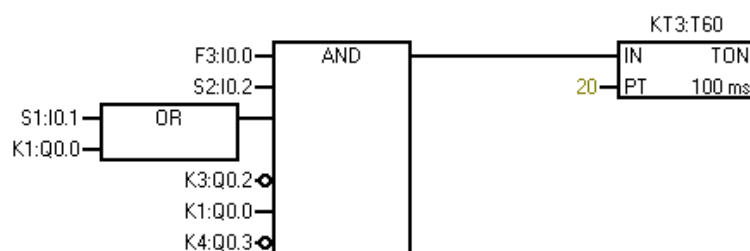
Network 4 Realizacja załączenia sekcji pierwszej



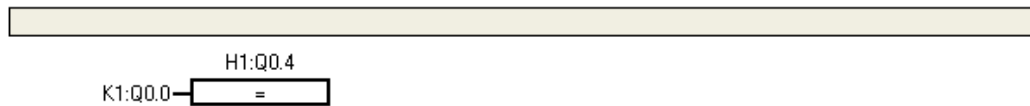
Network 5 Realizacja opóźnienia dla sekcji drugiej



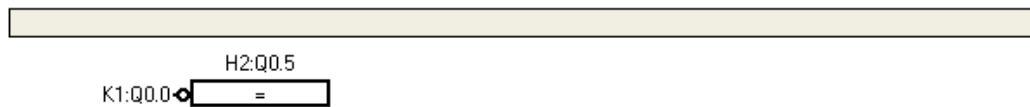
Network 6 Realizacja opóźnienia dla sekcji pierwszej



Network 7 sygnalizacja pracy silnika

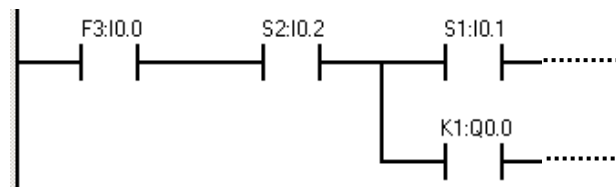


Network 8 Sygnalizacja zatrzymania silnika



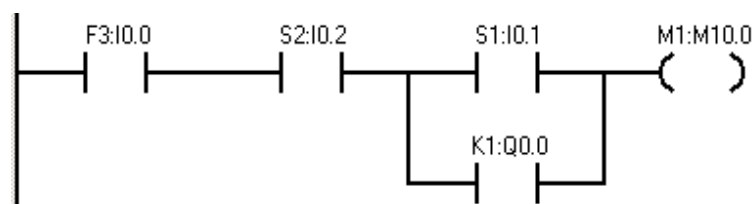
1.8. Uwagi do tworzenia programów PLC do sterowania silnikiem

UWAGA NR 1: Analizując programy użytkowe PLC zauważyć można, że w większości tych programów edycja kilku początkowych sieci programowych (tzw. **Networków**), które dotyczyły tego samego przykładu, edytowana jest podobnie. To znaczy, w pierwszych fragmentach kolejnych sieci programowych wystąpił taki sam fragment konstrukcji sieci. Np. w ostatnim przykładzie układu sterowania silnikiem pierścieniowym przedstawiony poniżej początkowy fragment sieci w języku LAD powtórzony był wielokrotnie.

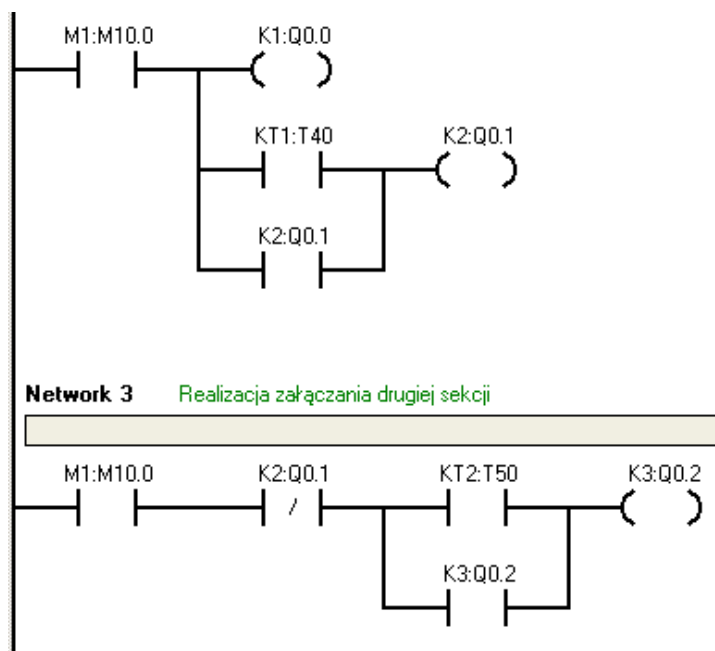


Nie jest to błąd twórcy programu użytkowego, a wyniknęło to z takich a nie innych możliwości edycyjnych środowiska narzędziowego do tworzenia programów użytkowych (tutaj oprogramowanie typu MicroWin dla rodziny sterowników PLC firmy Siemens). Po prostu, konstrukcja edytora języka LAD narzuciła odpowiedni podział schematu sterowania stykowego tak, aby była możliwa jego programowa implementacja pod kątem zgodności logicznej z tym schematem. Należy stwierdzić, że w innych środowiskach programistycznych spotkać można większe, a nawet i uboższe możliwości edycji programów PLC, jak również odwrotnie, istnieją edytory języka LAD, w których utworzony program w tym języku przypomina niemalże schemat sterowania stykowego.

UWAGA NR 2: Rozwiązaniem problemu wielokrotnego powtarzania identycznych fragmentów sieci programowych jest zastosowanie tzw. znaczników programowych (Markerów). Polega to na przyporządkowaniu fragmentu powtarzanej sieci programowej znacznikowi o odpowiednim adresie absolutnym, a następnie używaniu tego pojedynczego znacznika w programie PLC jako reprezentanta mającej się powtarzać sieci. Upraszcza to i przyspiesza tworzenie programu użytkowego oraz program ten staje się wtedy bardziej czytelny. Pokazuje to poniższy przykład, gdzie dla powtarzanego wielokrotnie fragmentu sieci przyporządkowano znacznik programowy **M1:M10.0**:



Konsekwencją powyższej sieci programowej, w której rezultat operacji logicznej **RLO** na czterech operandach (ang. *Result of Logic Operation*) został wpisany do znacznika o adresie **M10.0**, będzie możliwość używania adresu znacznika **M10.0** jako reprezentanta „tego” **RLO** w każdej sieci programowej, gdzie zostanie on użyty. Zilustrowano to poniżej.



2. Sterownik PLC w sterowaniu systemami mechatronicznymi

Część druga ilustruje dwa wybrane przykłady sterowania systemami mechatronicznymi o randze procesów technologicznych, charakteryzujące się dużym stopniem złożoności. Miało to pokazać Czytelnikowi sposób wykorzystania sterownika PLC w aplikacjach, które angażują bardziej zaawansowane metody tworzenia programu użytkowego PLC, niż to miało miejsce w podpunkcie 4.1, w którym skupiono się zasadniczo na zamianie schematu stykowego sterowania silnikiem elektrycznym na program użytkowy, realizujący identyczne sterowanie, ale z wykorzystaniem sterownika PLC.

W części pierwszej założono również, że przy zamianie schematu stykowego na program użytkowy PLC wykorzystanie znaczników programowych typu **Mx.x** (patrz UWAGA NR 2 na poprzedniej stronie) może być dla Czytelnika pewnym utrudnieniem w zrozumieniu zasad tworzenia poprawnych programów użytkowych PLC i po prostu tego sposobu nie zastosowano w prezentowanych przykładach. Ale już w drugiej części niniejszego modułu 4, która będzie dotyczyła programów użytkowych PLC dla wspomnianych systemów mechatronicznych o dużym stopniu złożoności, wykorzystanie znaczników programowych typu **Mx.x** stało się obowiązkowe i to pokazano. Konstrukcja każdej sieci programowej NETWORK x opiera się na wykorzystaniu tego mechanizmu.

2.1. Układ sterowania pracą szybowej windy towarowej

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceniodawcy

Zrealizować układ sterowania pracą szybowej windy towarowej. Jako główne urządzenie sterujące układu sterowania windą towarową zastosować sterownik PLC o odpowiedniej konfiguracji we/wy cyfrowych. Napięcie zasilania dla sterownika PLC powinno wynosić 230V AC, a napięcie zasilania układów we/wy powinno wynosić 24V DC. Sterownik PLC powinien być wyposażony w wyjścia przekaźnikowe (ang. **Relay**) o odpowiedniej obciążalności prądowej. Sygnałem sterującym dla każdego wejścia sterownika PLC jest zaś sygnał napięciowy 24V DC. Przyjąć, że nie jest możliwy wybór kondygnacji (piętra) z wewnątrz windy towarowej tylko z zewnątrz.

B) Opis działania układu sterowania pracą szybowej windy towarowej

W celu przywołania kabiny szybowej windy towarowej na żądane piętro należy wybrać właściwy mono-stabilny przycisk **P1 ÷ P3**, umieszczone na zewnątrz windy (np. w korytarzu). Po tym żądaniu przywołana winda zatrzymuje się. Jest to moment na otworzenie samozamykających się drzwi windy i jej użycie. Gdy czujnik drzwiowy **CD** stwierdzi ten fakt, zapali lampę kontrolną **H4**. Po użyciu kabiny winda pozostaje w bezruchu oczekując na kolejne przywołanie. Powyższy cykl sterowania windą może się powtarzać. Wyłączenie awaryjne windy podczas jej ruchu jest możliwe tylko za pośrednictwem przycisku **STOP**, umieszczonego w szafie sterowniczej, a inicjacja układu sterowania jest możliwa po włączeniu zasilania oraz naciśnięciu przycisku **START**. Sygnalizatory optyczne **H_START** oraz **H_STOP** pokazują tryby pracy układu sterowania. Zastosowana sygnalizacja optyczna przy użyciu sygnalizatorów **H1/H2/H3** umożliwia określanie aktualnego położenia windy towarowej. Po awaryjnym wyłączeniu (**STOP=ON**) i ponownym załączeniu, winda jest sprowadzana na pierwszą kondygnację przy sygnalizacji **H_START** z częstotliwością pulsowania $f = 1\text{Hz.}$, po czym **H_START = OFF** oraz **H_STOP=ON**. Wybranie przycisku **START** uruchamia układ sterowania: **H_START** i **H1=ON** oraz **H_STOP=OFF**.

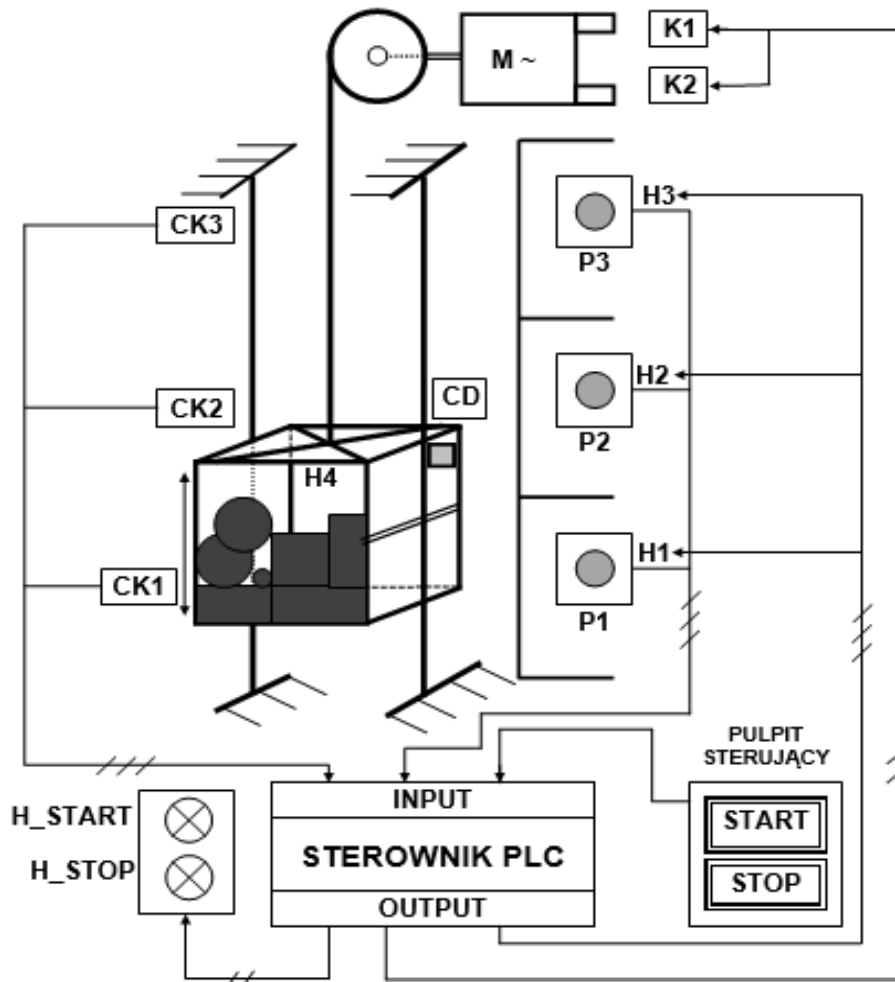
C) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresom absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 40: Tabela przyporządkowująca

Sygnał	Operand	Komentarz
P1	I 0.0	Przycisk przywołania windy na poziom P1 – typ NO
P2	I 0.1	Przycisk przywołania windy na poziom P2 – typ NO
P3	I 0.2	Przycisk przywołania windy na poziom P3 – typ NO
CK1	I 0.3	Czujnik krańcowy obecności windy na P1 – typ NC
CK2	I 0.4	Czujnik krańcowy obecności windy na P2 – typ NC
CK3	I 0.5	Czujnik krańcowy obecności windy na P3 – typ NC
CD	-	Czujnik otwarcia drzwi windy dla H4 .
START	I 0.6	Załączenie pracy windy – typ NO. Powoduje uruchomienie programu użytkowego.

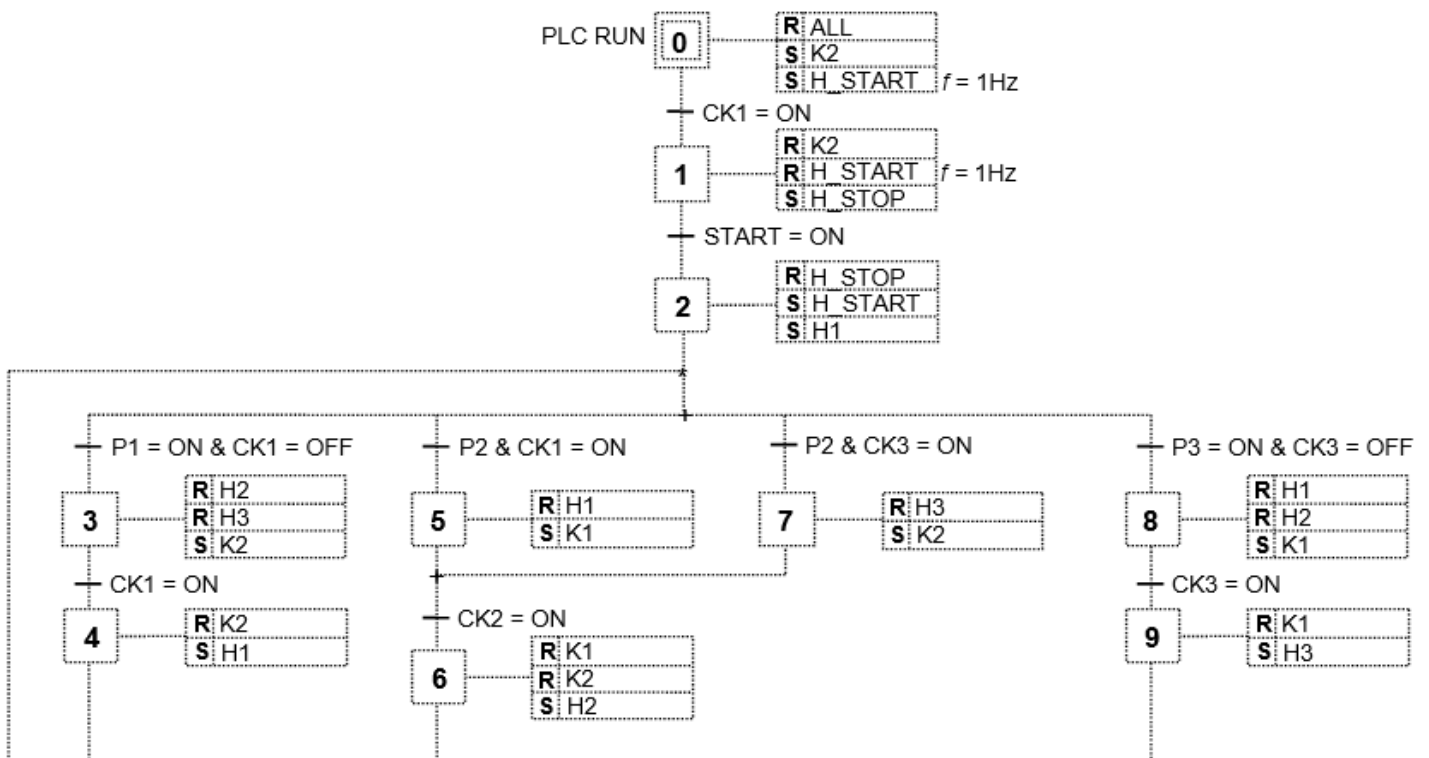
STOP	-	Wyłączenie pracy windy towarowej – typ NC. Zatrzymuje pracę windy w dowolnym momencie jej pracy. Przycisk ten nie jest operandem dla sterownika PLC.
H1	Q 0.0	Sygnalizacja optyczna wybrania poziomu P1 .
H2	Q 0.1	Sygnalizacja optyczna wybrania poziomu P2 .
H3	Q 0.2	Sygnalizacja optyczna wybrania poziomu P3 .
H4	-	Oświetlenie kabiny windy towarowej.
H_START	Q0.3	Sygnalizacja optyczna startu układu sterowania windą.
H_STOP	Q0.4	Sygnalizacja optyczna zatrzymania układu sterowania.
K1	Q 0.5	Wyjście załączające windę towarową w kierunku: „do góry”. Wyjście to za pośrednictwem stycznika załącza silnik M w kierunku obrotów „w prawo”.
K2	Q 0.6	Wyjście załączające windę towarową w kierunku: „do dołu”. Wyjście to za pośrednictwem stycznika załącza silnik M w kierunku obrotów „w lewo”.
KROK_0	M1.0	Znacznik kroku zerowego.
KROK_1	M1.1	Znacznik kroku pierwszego.
KROK_2	M1.2	Znacznik kroku drugiego.
KROK_3	M1.3	Znacznik kroku trzeciego.
KROK_4	M1.4	Znacznik kroku czwartego.
KROK_5	M1.5	Znacznik kroku piątego.
KROK_6	M1.6	Znacznik kroku szóstego.
KROK_7	M1.7	Znacznik kroku siódmego.
KROK_8	M2.0	Znacznik kroku ósmego.
KROK_9	M2.1	Znacznik kroku dziewiątego.
SPEC_1	SM0.1	Znacznik równy 1 tylko w pierwszym cyklu.
SPEC_2	SM0.5	Znacznik generujący stabilny impuls o $f=1\text{Hz}$.
SPEC_3	M2.2	Znacznik ustawiany dla H_START pulse 1Hz

D) Schemat blokowy procesu mechatronicznego



Rysunek 61: Schemat procesu mechatronicznego

E) Algorytm SFC sterowania szybową windą towarową



Rysunek 62: Algorytm SFC sterowania szybową windą towarową

F) Program użytkowy PLC do sterowania szybową windą towarową zgodnie z opisem w p. B)

(W podpunkcie 4.2. programy użytkowe PLC utworzono wyłącznie językiem tekstowym STL)

⇒ **JĘZYK STL**

Network 1 // Konstrukcja kroku zerowego

LD SM0.1

S M1.0, 1

Network 2 // Działanie w kroku zerowym: zerowanie pamięci, ustawienie ruchu w dół i pulse na H_START

LD M1.0

R Q0.0, 7

R M1.1, 10

S Q0.6, 1

S M2.2, 1

Network 3 // Konstrukcja kroku pierwszego

LD M1.0

A I0.3

S M1.1, 1

R M1.0, 1

Network 4 // Działanie w kroku pierwszym: zatrzymanie ruchu windy w dół, wył. pulse H_START oraz załączenie H_STOP

LD M1.1

R Q0.6, 1

R M2.2, 1

S Q0.4, 1

Network 5 // Konstrukcja kroku drugiego

LD M1.1

A I0.6

S M1.2, 1

R M1.1, 1

Network 6 // Działanie w kroku drugim: wyłączenie H_STOP, załączenie H_START oraz H1 (winda na parterze)

LD M1.2

R Q0.4, 1

S Q0.3, 1

S Q0.0, 1

Network 7 // Konstrukcja kroku trzeciego

LD M1.2

A I0.0

AN I0.3

S M1.3, 1

R M1.2, 1

R M1.6, 1

R M2.1, 1

Network 8 // Działanie w kroku trzecim po naciśnięciu przycisku P1

LD M1.3

R Q0.1, 2

S Q0.6, 1

Network 9 // Konstrukcja kroku czwartego

LD M1.3

A I0.3

S M1.4, 1

R M1.3, 1

Network 10 // Działanie w kroku czwartym: załączenie H1 gdy winda się zatrzyma na parterze

LD M1.4

R Q0.6, 1

S Q0.0, 1

Network 11 // Konstrukcja kroku piątego

LD M1.2

A I0.1

A I0.3

S M1.5, 1

R M1.2, 1

R M1.4, 1

R M2.1, 1

Network 12 // Działanie w kroku piątym po naciśnięciu przycisku P2 gdy winda była na parterze

LD M1.5

R Q0.0, 1

S Q0.5, 1

Network 13 // Konstrukcja kroku szóstego

LD M1.5
O M1.7
A I0.4
S M1.6, 1
R M1.5, 1
R M1.7, 1

Network 14 // Działanie w kroku szóstym: sygnalizacja po zatrzymaniu windy na P2

LD M1.6
R Q0.5, 2
S Q0.1, 1

Network 15 // Konstrukcja kroku siódmego

LD M1.2
A I0.1
A I0.5
S M1.7, 1
R M1.2, 1
R M1.4, 1
R M2.1, 1

Network 16 // Działanie w kroku siódmym po naciśnięciu P2 gdy winda była na P3

LD M1.7
R Q0.2, 1
S Q0.6, 1

Network 17 // Konstrukcja kroku ósmego

LD M1.2
A I0.2
AN I0.5
S M2.0, 1
R M1.2, 1
R M1.4, 1
R M1.6, 1

Network 18 // Działanie w kroku ósmym po wybraniu przycisku P3

LD M2.0
R Q0.0, 2
S Q0.5, 1

Network 19 // Konstrukcja kroku dziewiątego

```
LD M2.0  
A I0.5  
S M2.1, 1  
R M2.0, 1
```

Network 20 // Działanie w kroku dziewiątym: sygnalizacja H3 po zatrzymaniu windy na P3

```
LD M2.1  
R Q0.5, 1  
S Q0.2, 1
```

Network 21 // Konstrukcja układu generacji pulse na H_START po załączeniu sterownika PLC

```
LD M2.2  
A SM0.5  
= Q0.3
```

UWAGA!

W tym miejscu należy się Czytelnikowi informacja, w jaki sposób przekształcono algorytm sterowania SFC (rysunku 62) na powyższy program użytkowy. Otóż można zauważyć, że dla każdego kroku algorytmu SFC zarezerwowano oddzielną sieć programową, w której utworzono znacznik programowy typu **Mx.x** dla danego kroku (instrukcją typu **S** - Set) oraz „pozbywano” się znacznika kroku poprzedniego (instrukcją typu **R** - Reset). Na przykład w sieci **Network 3** o postaci:

```
LD M1.0  
A I0.3  
S M1.1, 1 // Ustaw znacznik dla kroku następnego  
R M1.0, 1 // Wyzeruj znacznik kroku poprzedniego
```

utworzono znacznik **M1.1** dla kroku algorytmu o numerze „1” oraz skasowano znacznik kroku poprzedniego **M1.0**. Zasada taka jest niezbędna dla prawidłowego rozwoju algorytmu w programie PLC.

Dalej, po każdej sieci tworzącej nowy znacznik kroku algorytmu SFC (tutaj **Network 3**), wystąpiła kolejna sieć, tworząca tzw. bloku działania dla tego utworzonego kroku. W bloku działania używając odpowiednich instrukcji programowych steruje się np. układami wykonawczymi procesu mechatronicznego. Zatem sieć **Network 4** postaci:

```
LD M1.1  
R Q0.6, 1  
R M2.2, 1  
S Q0.4, 1
```

realizuje wyłączenie ruchu windy w dół (instrukcja **R** dla **Q0.6**), wyłączenia pulse $f = 1\text{Hz}$ na **H_START** (instrukcja **R** dla **M2.2**) oraz załączenia sygnalizatora optycznego **H_STOP** (instrukcja **S** dla **Q0.4**).

Uważny Czytelnik zapewne zauważy, że przy instrukcjach typu **S** i **R** występują liczby po przecinku. Powyższe ma związek z tzw. liczbą ustawianych/kasowanych bitów rejestru, począwszy od miejsca bazowego. Miejscem bazowym jest adres tego bitu.

(W następnym przykładzie podpunktu 4.2. autor zastosował podobną technikę zamiany algorytmu SFC na program sterujący PLC).

2.2. Układ sterowania procesem mieszania materiałów sypkich

A) Słowne sformułowanie zadania dla układu sterowania na podstawie opisu zleceńodawcy

Zrealizować układ sterowania procesem mieszania materiałów sypkich. Praca mono-stabilna. Jako główne urządzenie sterujące zastosować sterownik PLC o odpowiedniej konfiguracji we/wy cyfrowych. Napięcie zasilania dla sterownika PLC powinno wynosić 220V AC zaś napięcie zasilania układów we/wy powinno wynosić 24V DC. Sterownik PLC powinien posiadać wyjścia przekaźnikowe typu **Relay**. Sygnał sterujący dla wejść sterownika PLC to sygnał napięciowy 24 VDC.

B) Opis działania układu sterowania procesem mieszania materiałów sypkich

Układ jest włączany przyciskiem **START** i realizuje jednorazowy proces mieszania materiałów sypkich, pochodzących z zbiorników **A** i **B** (dostarczanie tych materiałów do zbiorników **A** i **B** realizuje inny sterownik PLC). Jednorazowy proces mieszania materiałów sypkich rozumiany jest tutaj jako wymieszanie dwóch materiałów **A** i **B** w zbiorniku **C** oraz jego późniejsze opróżnienie.

Warunkiem rozpoczęcia procesu sterowania procesem mieszania jest stan zbiorników **A** i **B** – pełny, oraz zbiornika **C** – pusty. Czujniki poziomów **CZ1** i **CZ2** na bieżąco kontrolują odpowiednią zawartość materiałów sypkich w zbiornikach **A** i **B**, niezbędnych do wykonania procesu technologicznego. Stan tych czujników **CZ1/CZ2** równy **1** oznacza zbiorniki pełne odpowiednio **A** i **B**. W przypadku, gdy po pobudzeniu przycisku **START** sterownik PLC otrzyma od tych czujników sygnał braku choćby jednego materiału sypkiego lub sygnał obecności materiału w zbiorniku **C**, następuje stabilne włączenie lampki sygnalizującej **ALARM** oraz nie istnieje możliwość załączenia procesu dozowania i potem mieszania. Sygnalizacja alarmu wyłączy się samoczynnie po uzupełnieniu brakującego materiału lub opróżnieniu zbiornika **C** i wówczas układ jest gotowy do pracy po ponownym załączeniu przyciskiem **START**.

Układ można wyłączyć w każdej chwili za pomocą przycisku **STOP**, który odłącza zasilanie od układu sterowania procesem mieszania. Przycisk **STOP** nie jest przy tym operandem sterownika PLC (nie jest wprowadzony sygnał od tego przycisku na wybrane wejście modułu wejść sterownika PLC). Ze względów bezpieczeństwa sterownik PLC współpracuje z czujnikiem termicznym **CT**, umieszczonym w silniku elektrycznym, obracającym mieszadło **M**. Jedno z wejść sterownika PLC związane jest bezpośrednio z pracą mieszadła **M** w celu jego kontroli pracy. Jest to tzw. wejście diagnostyczne **WD**. W momencie, gdy sterownik PLC załączy silnik mieszadła **M** i z różnych przyczyn nie rozpocznie ono pracy w określonym czasie **t** (sygnał **WD** nie zmieni się z 0 na 1 w czasie 2s), to automatycznie uruchamiana jest pulsująca sygnalizacja alarmu **1Hz**. Operator procesu powinien wtedy

natychmiast zająć się określeniem uszkodzenia i przeprowadzić naprawę układu mieszadła. Ponowne pobudzenie **START** daje szansę na kontynuację procesu sterowania. Powyższa funkcja umożliwi samo-diagnostykę systemu sterowania procesem mieszania poprzez kontrolę układu wykonawczego.

Zastosowano dodatkowo sygnalizację optyczną: **H_START** - pali się stabilnie, gdy proces jest kontynuowany od momentu uruchomienia przyciskiem **START** do momentu końca opróżnienia zbiornika **C**; **H_STOP** - pali się stabilnie, gdy proces nie jest uruchomiony oraz pulsuje sygnalizacja **1Hz** - stwierdzono awarię od czujników **WD** oraz **CT**.

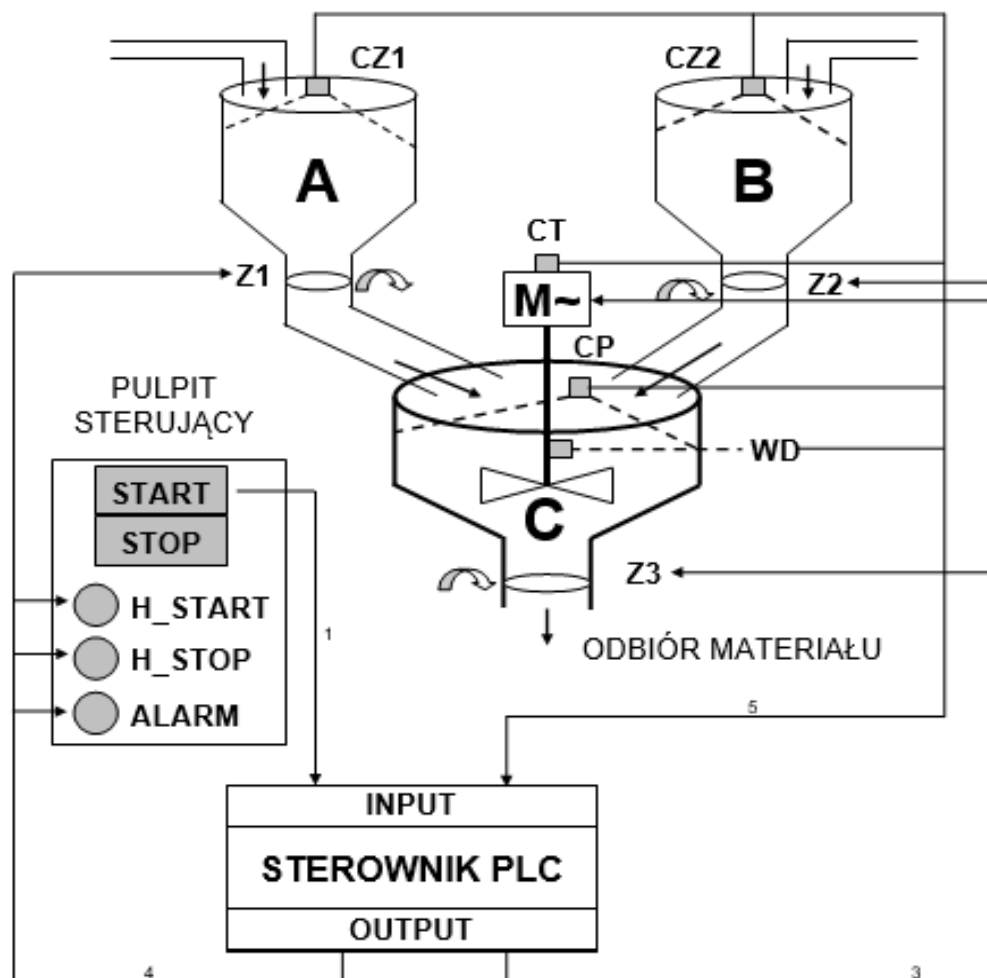
C) Tabela przyporządkowania sygnałów we/wy adresom absolutnym (operandom) sterownika PLC

Tabela 41: Tabela przyporządkowująca

Sygnal	Operand	Komentarz
START	I0.1	Przycisk włączenia układu – typ NO .
CZ1	I0.2	Czujnik obecności materiału w zbiorniku A - typ NO (ultradźwiękowy).
CZ2	I0.3	Czujnik obecności materiału w zbiorniku B - typ NO (ultradźwiękowy).
CP	I0.4	Czujnik obecności materiału w zbiorniku C - typ NO (ultradźwiękowy).
CT	I0.5	Czujnik temperatury silnika - typ NC .
WD	I0.6	Wejście diagnostyczne związane z mieszadłem - typ NO .
Z1	Q0.0	Załączanie zaworu 1 inicjujące dostarczenie materiału ze zbiornika A do zbiornika C .
Z2	Q0.1	Załączanie zaworu 2 inicjujące dostarczenie materiału ze zbiornika B do zbiornika C .
Z3	Q0.2	Załączania zaworu 3 inicjujące opróżnianie materiału ze zbiornika C .
M	Q0.3	Sterowanie mieszadłem M .
H_START	Q0.4	Sygnalizacja pracy układu po jego inicjacji przyciskiem START .
H_STOP	Q0.5	Sygnalizacja stopu układu (przed wciśnięciem START) oraz sygnalizacja <i>pulse</i> 1Hz po wystąpieniu awarii pracy mieszadła M .
ALARM	Q0.6	Sygnalizacja alarmu – załącza się w momencie niecałkowitego opróżnienia zbiornika C oraz niecałkowitego napełnienia zbiorników A i B .
KROK_0	M0.0	Znacznik kroku zerowego.
KROK_1	M0.1	Znacznik kroku pierwszego.
KROK_2	M0.2	Znacznik kroku drugiego.

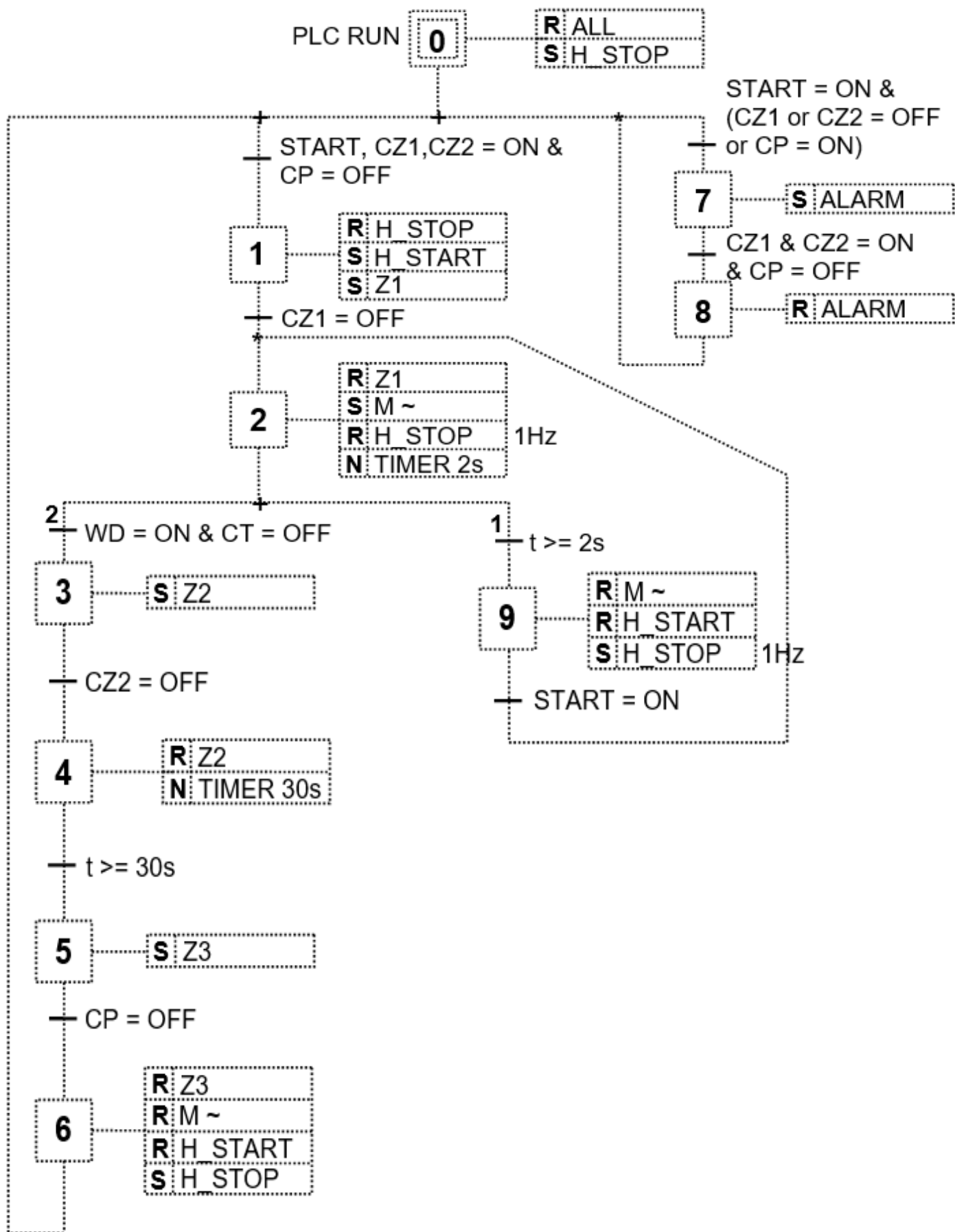
KROK_3	M0.3	Znacznik kroku trzeciego.
KROK_4	M0.4	Znacznik kroku czwartego.
KROK_5	M0.5	Znacznik kroku piątego.
KROK_6	M0.6	Znacznik kroku szóstego.
KROK_7	M0.7	Znacznik kroku siódmego.
KROK_8	M1.0	Znacznik kroku ósmego.
KROK_9	M1.1	Znacznik kroku dziewiątego.
SPEC_1	SM0.1	Znacznik równy 1 tylko w pierwszym cyklu.
SPEC_2	SM0.5	Znacznik generujący stabilny impuls o $f=1\text{Hz}$.
SPEC_3	M1.2	Znacznik ustawiany dla H_START pulse 1Hz.
TIMER 2s	T40	Timer 2 sekundy.
TIMER 30s	T50	Timer 30 sekund.
STOP	-	Wyłączenie pracy procesu mieszania – typ NC. Zatrzymuje stabilnie pracę układu mieszania w dowolnym momencie jego pracy. Przycisk ten nie jest operandem dla sterownika PLC.

D) Schemat blokowy procesu mechatronicznego



Rysunek 63: Schemat procesu mechatronicznego

E) Algorytm SFC sterowania procesem mieszania cieczy



Rysunek 64: Algorytm SFC sterowania procesem mieszania cieczy

F) Program użytkowy PLC do sterowania szybową windą towarową zgodnie z opisem w p. B)

⇒ **JĘZYK STL**

Network 1 // Tworzenie kroku zerowego

LD SM0.1
S M0.0, 1

Network 2 // Blok działania w kroku zerowym

LD M0.0
R M0.1, 9
R Q0.0, 7
S Q0.5, 1

**Network 3 // Tworzenie kroku siódmego dla sygnalizowania ALARM, gdy zbiorniki nie pełne A lub B oraz C
nie pusty**

LD M0.0
A I0.1
LDN I0.2
ON I0.3
O I0.4
ALD
S M0.7, 1
R M0.0, 1
R M0.6, 1

Network 4 // Blok działania w kroku siódmym

LD M0.7
S Q0.6, 1

Network 5 // Tworzenie kroku ósmego: zerowanie ALARM, gdy warunki początkowe OK!

LD M0.7
A I0.2
A I0.3
A NI0.4
S M1.0, 1
R M0.7, 1

Network 6 // Blok działania w kroku ósmym

LD M1.0
R Q0.6, 1

Network 7 // Tworzenie kroku pierwszego rozpoczynającego proces dozowania materiału ze zbiornika A

LD M0.0
O M0.6
A M1.0
A I0.1
A I0.2
A I0.3
AN I0.4
S M0.1, 1
R M0.0, 1
R M0.6, 1
R M1.0, 1

Network 8 // Blok działania w kroku pierwszym

LD M0.1
R Q0.5, 1
S Q0.4, 1
S Q0.0, 1

Network 9 // Tworzenie kroku drugiego m.in. dla rozpoczęcia pracy mieszadła

LD M0.1
AN I0.2
LD M1.1
A I0.1
OLD
S M0.2, 1
R M0.1, 1
R M1.1, 1

Network 10 // Blok działania w kroku drugim

LD M0.2
R Q0.0, 1
S Q0.3, 1
R M1.2, 1
TON T40, 20

Network 11 // Tworzenie kroku dziewiątego dla m.in. dla pulse 1Hz

LD M0.2
A T40
S M1.1, 1
R M0.2, 1

Network 12 // Blok działania w kroku dziewiątym

LD M1.1
R Q0.3, 1
R Q0.4, 1
S M1.2, 1

Network 13 // Tworzenie kroku trzeciego dla dozowania materiału ze zbiornika B

LD M0.2
A I0.6
A I0.5
S M0.3, 1
R M0.2, 1

Network 14 // Blok działania w kroku trzecim

LD M0.3
S Q0.1, 1

Network 15 // Tworzenie kroku czwartego dla mieszania składników A i B

LD M0.3
AN I0.3
S M0.4, 1
R M0.3, 1

Network 16 // Blok działania w kroku czwartym

LD M0.4
R Q0.1, 1
TON T50, 300

Network 17 // Tworzenie kroku piątego w celu rozpoczęcia opróżniania zbiornika C

LD M0.4
A T50
S M0.5, 1
R M0.4, 1

Network 18 // Blok działania w kroku piątym

LD M0.5
S Q0.2, 1

Network 19 // Tworzenie kroku szóstego dla końca cyklu

LDM0.5
AN I0.4
S M0.6, 1
R M0.5, 1

Network 20 // Blok działania w kroku szóstym

LD M0.6
R Q0.2, 1
R Q0.3, 1
R Q0.4, 1
S Q0.5, 1

Network 21 // Generacja stanu awarii układu mieszadła na H_STOP = 1Hz

LD M1.2
A SM0.5
= Q0.5

3. Uruchamianie oraz testowanie systemów mechatronicznych

Zawartość tematyczna poprzedniego punktu 4.2. skupiła się na pokazaniu Czytelnikowi, w jaki sposób przeprowadza się włączanie sterownika PLC do układu sterowania systemami mechatronicznymi. W pierwszej części tego punktu skupiono się na pokazaniu zastąpienia sterownikiem PLC tradycyjnego układu sterowania stykowego, zaś dwa przykłady drugiej części pokazują aplikację sterownika PLC w większych systemach mechatronicznych takich jak, sterowanie windą towarową czy układem mieszania materiałów sypkich.

Autor nadmieniam, że powyższe poskutkowało tym, że w bieżącym punkcie 4.3. skoncentrowano się wyłącznie na zagadnieniu uruchamiania oraz testowania sterownika PLC jako głównego urządzenia systemu mechatronicznego zakładając *a priori*, że omówienie chociażby częściowo (ze względu na objętość bieżącego podpunktu niniejszej publikacji) diagnostyki tego urządzenia oraz diagnostyki programu użytkowego PLC wprowadzi czytelnika w zagadnienie uruchamiania oraz testowania systemów mechatronicznych.

Materiał punktu 4.2. podzielono zatem na dwie części: część pierwszą, w której autor zawarł ogólne zagadnienia, dotyczące diagnostyki działania samego urządzenia, czyli sterownika PLC, a konkretnie jednostki CPU urządzenia oraz jego modułów wejść/wyjść, zaś w części drugiej autor pokazał sposób testowania programu użytkowego PLC przy użyciu wmontowanych w oprogramowanie narzędziowe do programowania sterowników PLC mechanizmów interakcyjnych z użytkownikiem, które obecnie są standardem takich narzędzi.

3.1. Uruchamianie i testowanie jednostki CPU oraz modułów wejść/wyjść sterownika PLC

Bez względu na typ sterownika PLC, czyli typu modułowego czy złożonego (Compact) testowanie poprawności działania sterownika PLC jako głównego urządzenia układu sterowania sprowadza się do:

1. analizy poprawności funkcjonowania jednostki (modułu) CPU, począwszy od momentu załadowania do pamięci modułu programu użytkowego PLC a skończywszy na analizie pracy jednostki CPU w czasie realizacji sterowania systemem mechatronicznym;
2. testowania pracy poszczególnych modułów wejść/wyjść sterownika PLC, do których to modułów podłączone są sygnały, pochodzące oraz przeznaczone dla systemu mechatronicznego.

Ad1:

Diagnostyka modułu CPU w podstawowej analizie pracy sterownika PLC sprowadza się zazwyczaj do obserwacji sygnałów błędu, które uwidocznione są w postaci umieszczonych na panelu frontowym modułu diod typu LED. Obserwacja taka przeprowadzana jest przez osobę odpowiedzialną za proces uruchamiania układu sterowania systemem mechatronicznym (pierwszy okres adaptacji sterownika PLC), i później, okresowo przez operatora systemu mechatronicznego (drugi okres normalnej pracy sterownika PLC). Zazwyczaj już kilkusekundowa trwała sygnalizacja stanu na danej diodzie LED (świeci/nie świeci/miga) powinna wywołać interwencję w postaci usiłowania naprawy takiego błędu. Dobrą praktyką jest posiadanie sprawdzonego programu użytkowego PLC na nośniku pamięci wymiennej np. typu Flash, który może posłużyć do poprawnego uruchomienia modułu CPU w przypadku, gdy załadowano niewłaściwą konfigurację programową lub sprzętową (patrz dioda błędu SF). Znaczenie sygnałów z przykładowych diod LED modułu CPU sterownika PLC wyjaśnia **Tabela 42**.

Tabela 42: Detekcja błędów jednostki CPU na przykładzie sygnałów z panelu frontowego jednostki

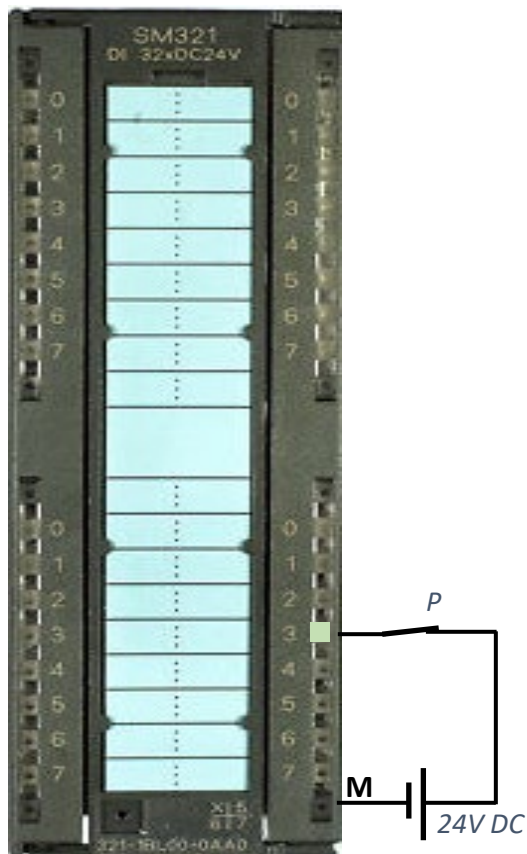
Wskaźnik LED	Kolor	Znaczenie
SF	Czerwona	Błąd programowy lub sprzętowy – błąd ten może wynikać np. z użycia w załadowanym programie użytkowym PLC adresów operandów, które nie istnieją w jednostce CPU, do której bieżący program użytkowy został załadowany lub załadowana została do tej jednostki CPU konfiguracja sterownika PLC, która jest niewłaściwa. Diagnostyka – brak palenia się diody SF oznacza prawidłową pracę jednostki, zaś zapalenie oznacza błąd programowy lub sprzętowy.
DC5V	Zielona	Sygnalizacja obecności zasilania 5V DC dla modułu CPU oraz tylnej magistrali, tzn. magistrali do przyłączania modułów we/wy. Diagnostyka – palenie się diody DC5V oznacza prawidłowe napięcie zasilania.

FRCE	Żółta	Test pamięci typu Flash. Diagnostyka – kilkusekundowe pulsowanie diody FRCE z częstotliwością $f = 2\text{Hz}$ oznacza prawidłową pracę.
RUN (HOLD)	Zielona	Sygnalizacja pracy jednostki CPU w trybie RUN. Diagnostyka – Pulsowanie diody RUN podczas startu przetwarzania z częstotliwością $f = 2\text{Hz}$ oraz w stanie HOLD z częstotliwością $f = 0.5\text{Hz}$ oznacza prawidłową pracę.
STOP (HOLD) (STARTUP)	żółta	Sygnalizacja pracy jednostki CPU w trybie STOP , HOLD lub STARTUP . Diagnostyka – Pulsowanie diody STOP z $f = 0.5\text{Hz}$ oznacza żądanie przez jednostkę CPU resetu pamięci sterownika oraz pulsowanie diody STOP z $f = 2\text{Hz}$ oznacza sam reset pamięci CPU.
MRES	żółta	Sygnalizacja zerowania pamięci programu CPU poprzez pulsowanie diody $f = 1\text{Hz}$. Diagnostyka – pulsowanie diody MRES oznacza proces zerowania pamięci.

Ad2:

Prawidłowa instalacja elektryczna, dotycząca doprowadzenia oraz przyłączenia przewodów elektrycznych do poszczególnych zacisków modułów wejść/wyjść sterownika PLC (m.in. właściwy przekrój przewodu sygnałowego, długość tego przewodu, ekranowanie, itp.) zazwyczaj ogranicza testowanie takich modułów do kontroli optycznej stanu zapalenia/zgaszenia diody LED, zorientowanej z danym wejściem/wyjściem modułu. Na przykład zaistnienie sygnału wejściowego w postaci napięcia na poszczególnym zacisku modułu wejść dwustanowych powinno wywołać zapalenie konkretnej diody LED, która zorientowana jest z tym wejściem. Dalej, wysterowanie konkretnego zestyku przekaźnika powiązanego z danym wyjściem w module wyjść powinno z kolei spowodować zapalenie diody LED, która zorientowana jest z tym wyjściem.

Powyższe na przykładzie modułu wejść dwustanowych dla rodziny sterowników S7 300 firmy Siemens ilustruje rysunek 65.



Rysunek 65: Sygnalizacja optyczna wysterowania wybranego wejścia modułu wejść sterownika PLC

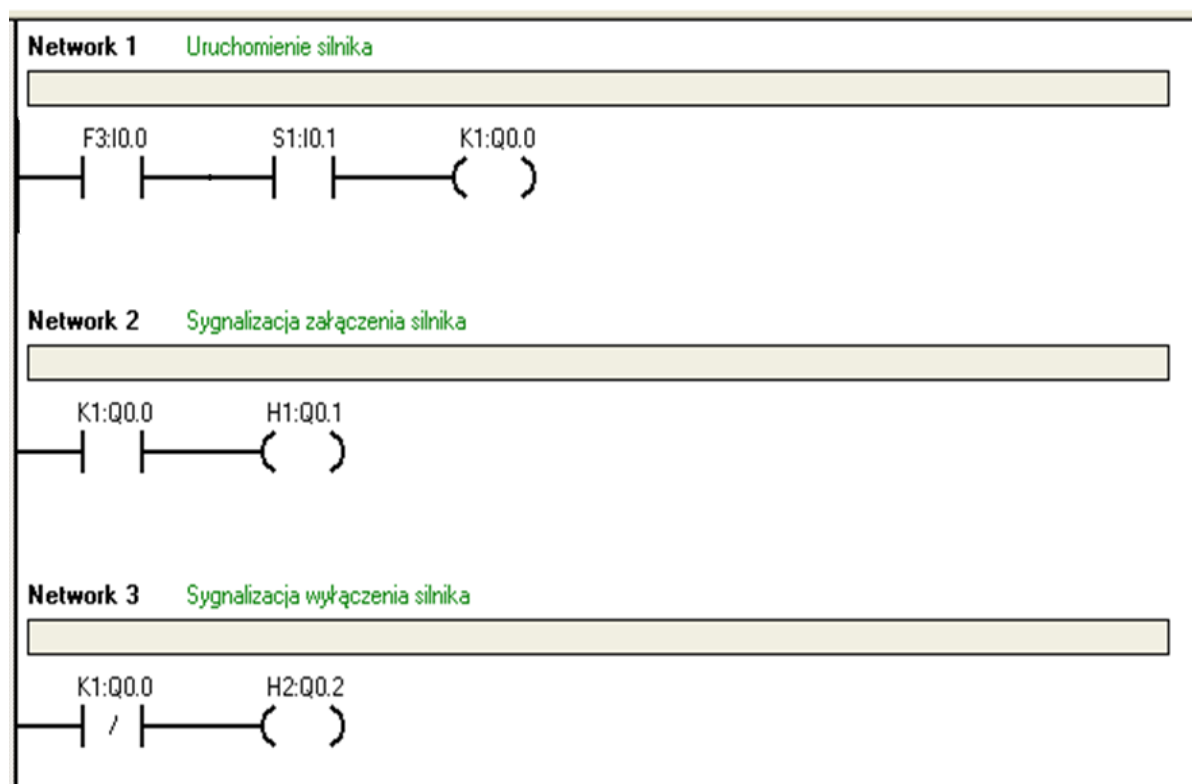
Zadziałanie przycisku **P**, który został pobudzony przez operatora procesu (który to przycisk może być na przykład umieszczony na pulpicie sterującym systemu mechatronicznego) wywołało podanie napięcia 24V DC na wejście modułu wejść sterownika SM321, oznaczone numerem „3” (tak naprawdę informacja ta została wpisana do adresu **I1.3** rejestru wejść). Dioda LED (w kolorze zielonym), która zorientowana jest z tym wejściem, zapaliła się, co pokazano na rysunku 65. Zwolnienie przez operatora przycisku **P** wywoła wygaszenie diody LED, świadczące o braku sygnału sterującego dla tego wejścia modułu wejść.

3.2. Sposób testowania programu użytkowego PLC

Rozwój systemów informatycznych w ogólności doprowadził do wzrostu stopnia interakcji użytkownika takich systemów z komputerem na skutek rozwoju interfejsów typu człowiek-maszyna **HCI** (ang. *Human Computer Interaction*). Jak wspomniano w module pierwszym, moment pojawienia się sterowników PLC przypada na okres końca lat 70-tych ubiegłego wieku. W tamtym czasie istniejące oprogramowanie narzędziowe, najczęściej „pod DOS-em” umożliwiało jedynie utworzenie oraz załadowanie programu użytkowego do pamięci sterownika PLC. Spotykana diagnostyka dotyczyła jedynie określania poprawności przesłania programu z programatora do sterownika PLC, nie zaś działania samego programu użytkowego. Ubogie możliwości grafiki takiego programatora (najczęściej ekranem była matryca LED) oraz „prymitywność” systemu operacyjnego nie pozwalały po prostu na nic więcej.

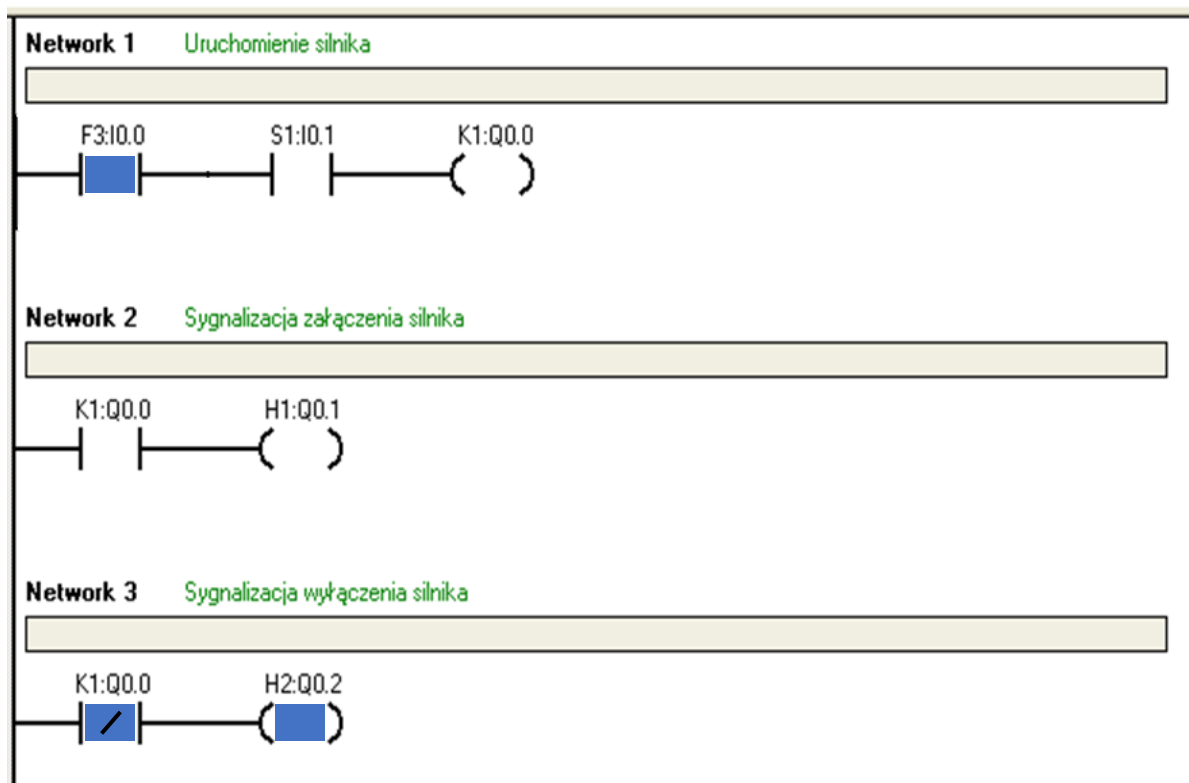
Obecnie większość oprogramowania narzędziowego dla różnych rodzin sterowników PLC pozwala na dużo efektywniejszą diagnostykę nie tylko poprawności ładowania oraz załadowania programu użytkowego do pamięci sterownika PLC, ale również i diagnostykę oraz monitorowanie działania samego programu użytkowego. (Autor skupił się na tym ostatnim zagadnieniu pomijając omawianie zagadnień wizualizacji procesów mechatronicznych narzędziami typu **SCADA** ze względu na jego obszerność niemożliwą do opisaną poprzez jakąś skróconą formę).

Wspomniane monitorowanie działania programu użytkowego polega na używaniu przez osobę nadzorującą działanie sterownika PLC mechanizmów, które zostały wbudowane w każdy język programowania, objęty omówioną już normą IEC 1131-3. Wyjaśnijmy powyższe na przykładzie monitorowania programu użytkowego PLC dla wybranego układu sterowania silnikiem elektrycznym z przykładu 4.1.1, którego postać w języku LAD (załadowaną do pamięci sterownika PLC bez jego uruchomienia - np. tryb STOP) ilustruje rysunek 66.



Rysunek 66: Program w języku LAD dla sterowania silnikiem elektrycznym z przykładu 4.1.1

Wyjaśniając powyższe stwierdza się, że postać programu użytkowego w języku LAD, która zilustrowana jest na rysunku 66 pokazuje tak naprawdę *scan* ekranu programatora (np. monitora komputera typu PC) w przypadku, gdy jednostka CPU sterownika PLC znajduje się w trybie **STOP**. W tym trybie na ekranie programatora widoczny jest załadowany program, ale najczęściej nie pojawiają się jakiegokolwiek komunikaty graficzne, które osoba obsługująca mogłaby odpowiednio zinterpretować. Dopiero „przełączenie” modułu CPU na tryb pracy **RUN** wywoła pojawienie się komunikatów graficznych, które uwidoczniono na rysunku 67. (W dalszym ciągu silnik elektryczny nie pracuje, mówimy tylko o momencie uruchomienia programu użytkowego PLC).

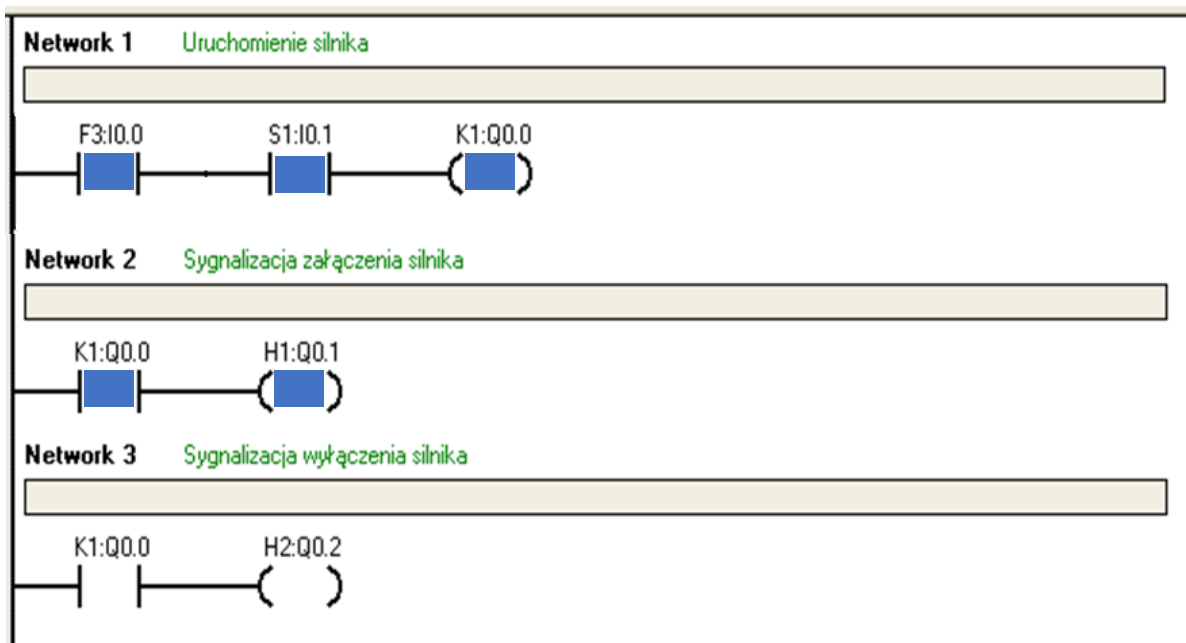


Rysunek 67: Postać ekranu monitora programatora po wywołaniu trybu RUN modułu CPU

Przełączenie jednostki CPU na tryb RUN spowodowało naniesienie w wybranych miejscach sieci programowych (tutaj **Network 1** i **Network 3**) graficznych „komunikatów” o stanie niektórych operandów programu użytkowego. „Zapalony” został adres **I0.0**, który mówi o aktywnym sygnale od czujnika termicznego **F3**, oraz zapalony został adres **Q0.2**, co wywoła zaświecenie sygnalizacji zatrzymania silnika **H2**. Podświetlenie adresu **K1:Q0.0** jest niczym innym jak użyciem mechanizmu programowego adekwatnego do użycia zestyku pomocniczego stycznika **K1** w sterowaniu stykowym z rysunku 34A) (gałąź druga).

Zatem podsumowując, po włączeniu układu sterowania silnikiem elektrycznym, który oparty został o sterownik PLC (rysunek 46) oraz po przełączeniu trybu pracy modułu CPU na tryb **RUN**, silnik elektryczny nie pracuje, co pokazuje zapalony sygnalizator optyczny **H2** (na pulpicie sterującym) oraz zapalony operand **Q0.2** w programie LAD (rysunek 56). Jest to tzw. stan oczekiwania na pobudzenie przez operatora przycisku sterującego **S1**.

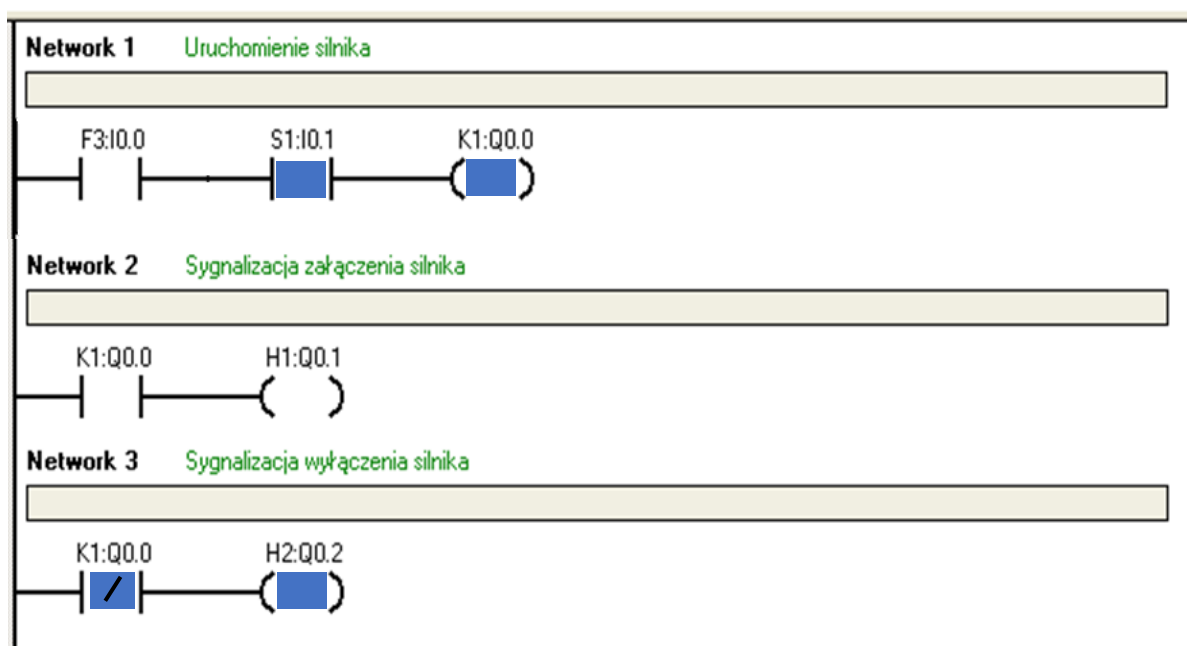
W momencie pobudzenia przez operatora systemu mechatronicznego przycisku sterującego **S1** silnik elektryczny zostanie załączony, a ekran monitora programatora będzie miał postać jak na rysunku 68.



Rysunek 68: Postać ekranu monitora programatora przy trwałym pobudzeniu przycisku sterującego S1

Uważny Czytelnik natychmiast zauważy, że nastąpiła zmiana w sygnalizacji optycznej zaistniałej „nowej” sytuacji sterowania silnikiem. Sieć **Network 1** „załączyła” stycznik **K1** (poprzez adres **Q0.0**), „zestyk pomocniczy” tego adresu w sieci **Network 2** załączył sygnalizator optyczny ruchu silnika **H1** (poprzez ten sam adres **Q0.0**) oraz sieć **Network 3** wyłączyła sygnalizację optyczną zatrzymania silnika **H2**.

Ponieważ rodzaj sterowania silnikiem elektrycznym z rysunku 34A) jest sterowaniem bez tzw. podtrzymania przycisku **S1**, to warunkiem uruchomienia i działania silnika elektrycznego jest jednoczesne spełnienie dwóch warunków: brakiem przegrzania silnika (czyli **F3=OFF**, co skutkuje zwartym jego zestykiem, gdyż jest on typu NC) oraz występujące trwałe pobudzenie przycisku **S1**. Warunki te widać dokładnie w sieci **Network 1**. Przy wystąpieniu przegrzania silnika elektrycznego (**F3=ON**) postać ekranu programatora będzie jak na rysunku 69.



Rysunek 69: Postać ekranu monitora programatora przy zadziałaniu przełącznika termicznego F3 przy S1=ON

4. Podsumowanie

W module czwartym, kończącym opracowanie pokazano na wybranych przykładach sposób włączenia sterownika PLC do układu sterowania procesami mechatronicznymi. Celem ilustracji zagadnień wybrano takie przykłady systemów, które w mniemaniu autora mogły pomóc w zrozumieniu tego złożonego zagadnienia, jakim jest użycie programowalnej maszyny cyfrowej (bo w istocie sterownik PLC jest taką maszyną) do zastąpienia człowieka w sterowaniu systemami mechatronicznymi. W pierwszej części jako urządzenia wykonawczego użyto silnika elektrycznego, w domyśle prądu przemiennego, zaś w drugiej części dwa przykłady pokazują również inne elementy sterowane przez sterownik PLC, takie jak zawory sterowane elektrycznie (elektrozawory). Oczywiście autor zdaje sobie sprawę, że zaprezentowane przykłady nie oddają w całości złożoności zagadnienia sterowania systemami mechatronicznymi przez inteligentne urządzenia programowalne. Jednak autor uważa, że wybrany przykłady przybliżą Czytelnika do zrozumienia powyższego. Część trzecia ilustruje podstawowe zagadnienia, dotyczące diagnozowania pracy sterownika PLC, który wykonuje program użytkowy. I znów, wybrano takie metody, które mogą pomóc Czytelnikowi zrozumieć zagadnienie monitoringu pracy podobnych urządzeń procesowych bez wnikania do stosowalności w diagnozowaniu takich systemów jak systemy SCADA. Zatem część trzecią oparto o podanie ogólnych sposobów diagnozowania poprawności pracy jednostki CPU oraz modułów wejść/wyjść sterownika PLC, jak również sposobu analizy „ekranu” diagnostycznego, czy była postać języka LAD, widoczna na monitorze programatora typu komputer PC.

Autor, kończąc podkreśli, że ma nadzieję, iż niniejsza publikacja, która oprócz tekstu pisane będzie zawierała również i inne materiały w innej postaci, przysłuży się Czytelnikom interesującym się zagadnieniami aplikacji sterowników PLC w różnych systemach mechatronicznych, począwszy od najprostszych a skończywszy na większych. Za wszelkie uwagi i spostrzeżenia autor będzie bardzo wdzięczny. Proszę je nadsyłać na adres mailowy: seta@mchtr.pw.edu.pl lub zbigniew.seta@pw.edu.pl.

BIBLIOGRAFIA

1. Borelbach K.H., i inni: *Steuerungstechnik mit speicherprogrammierten steuerrungen SPS*. Munchen 1992.
2. Czemplik A., Jabłoński A.: *Stacje operatorskie w systemach automatyki - zadania i oprogramowanie*. IX Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Zadania mikroprocesorów w automatyce i pomiarach, Warszawa, Październik 1994.
3. Hajda J., Kasprzyk J., Wyrwał J.: *Programowanie sterowników PLC*. Gliwice 1998.
4. Jelonek K., Trawiński A., Zakrzewski D.: *Popularne standardy transmisji szeregowej. Przegląd interfejsów i protokołów komunikacyjnych*. Elektronizacja nr 6-8 1997.
5. Markiewicz H.: *Instalacje elektryczne*. Warszawa WNT 1996.
6. Mikulczyński T., Samsonowicz Z.: *Automatyzacja dyskretnych procesów produkcyjnych*. Warszawa WNT 1997.
7. Norma IEC 1131 Programmable Controllers. 1993.
8. Norma PN-89/M-42007/01 Automatyka i pomiary przemysłowe. Oznaczenia na schematach.
9. Norma PN-90/M-42007/02 Automatyka i pomiary przemysłowe. Oznaczenia funkcji systemów komputerowych.
10. OMRON, *Programmable Controllers*. Katalog 1995.
11. Sacha K., *Projektowanie oprogramowania systemów sterujących*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej 1996.
12. Sacha K.: *Systemy czasu rzeczywistego*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej 1997.
13. SCHIELE, *Programmable Controllers*. Katalog 1995.
14. Seta Z., *Wprowadzenie do zagadnień sterowania. Wykorzystanie programowalnych sterowników logicznych PLC*. Wydawnictwo MIKON, Warszawa 2002.
15. SIMATIC S5 - Step 5 Ladder 90. Manual. Siemens.
16. SIMATIC, *LAD/STL/FBD Programming Manual*. Siemens 1998.
17. SIMATIC - S7 300 Programmable Controller, *Instalation and Hardware. Manual*. Siemens 1998.
18. SIMATIC - S7 300 and M7 300, *Programmable Controllers, Module Specifications, Reference Manual*. Siemens 1998.
19. SIMATIC - S7 200, *Programmable Controllers, Hardware and Instalation, Manual*. Siemens 1997.
20. Traczyk W.: *Układy cyfrowe automatyki*. Warszawa WNT 1974.
21. Winiecki W.: *Organizacja komputerowych systemów pomiarowych*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.