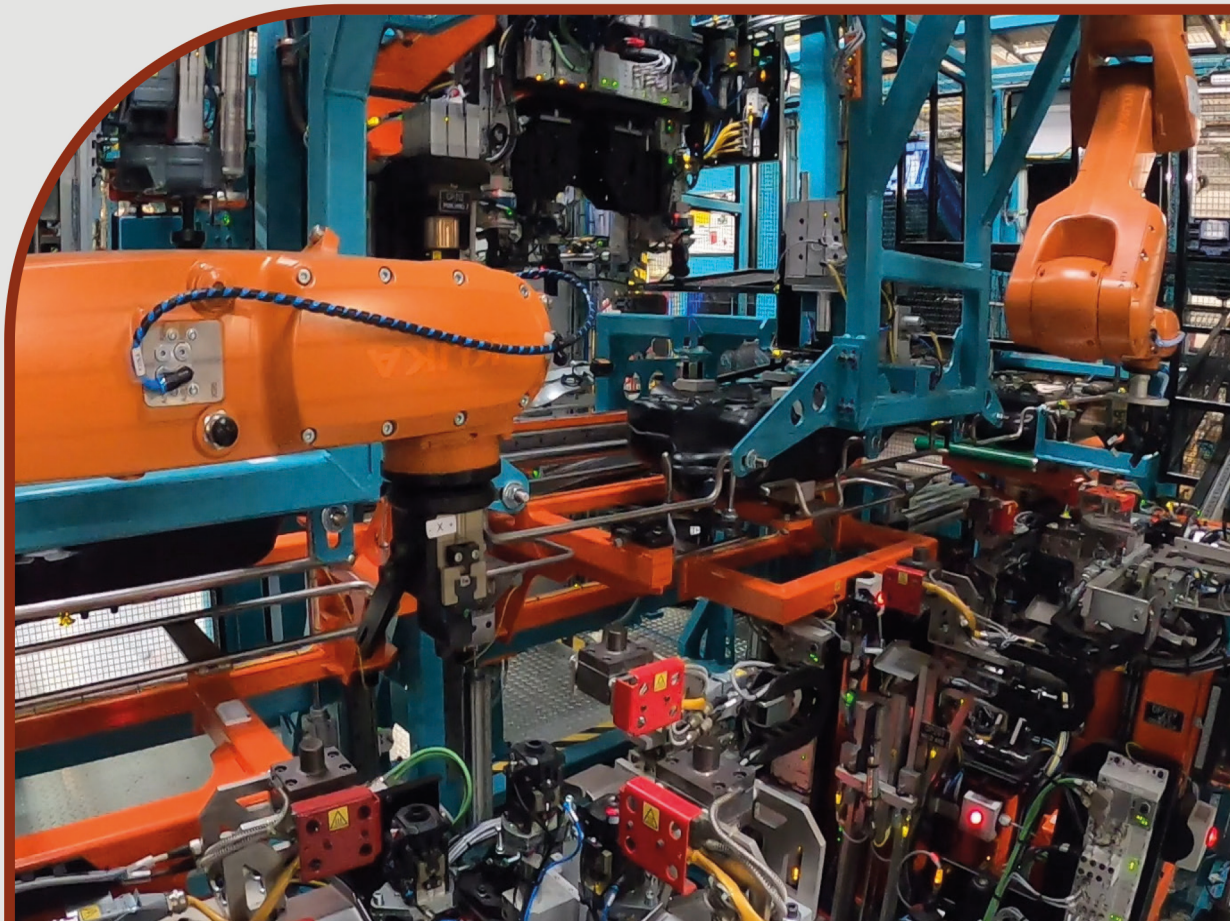
PODRĘCZNIKI

POLITECHNIKA LUBELSKA

Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych

Ćwiczenia laboratoryjne

Jacek Domińczuk



Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych

Ćwiczenia laboratoryjne

PODRĘCZNIKI

POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDZIAŁ
MECHANICZNY

POLITECHNIKI LUBELSKIEJ

Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych

Ćwiczenia laboratoryjne

Jacek Domińczuk

WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI
LUBELSKIEJ

Lublin 2024

R E C E N Z E N C I :

dr hab. inż. **Mariusz Hetmańczyk**, prof. PŚ, Politechnika Śląska
dr hab. inż. **Andrzej Zbrowski**, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji

A U T O R :

dr inż. **Jacek Domińczuk**, prof. PL, ORCID: 0000-0003-2536-5340
Politechnika Lubelska – ROR: https://ror.org/024zjzd49

Redaktor prowadzący: Karolina Famulska-Ciesielska
Korekta językowa: Małgorzata Stepuch
Skład i łamanie: Katarzyna Pełka-Smętek
Projekt graficzny serii: Łukasz Maj

Publikacja została sfinansowana w ramach programu projakościowego prorektora ds. studenckich:
Konkurs na wydanie podręcznika akademickiego lub skryptu

Zdjęcie na okładce i stronie przedtytułowej wykonane zostało przez autora
i przedstawia fragment zrobotyzowanej linii wytwórczej.

O ile nie wskazano inaczej, rysunki stanowią opracowanie własne autora.

Publikacja wydana za zgodą **Rektora Politechniki Lubelskiej**

ISBN: 978-83-7947-593-3 (wersja drukowana)
ISBN: 978-83-7947-594-0 (wersja elektroniczna)
DOI: 10.35784/9788379475940
Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
www.wpl.pollub.pl
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin tel.
(81) 538-46-59

WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI
LUBELSKIEJ

Książka udostępniona jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)
Nakład: 50 egz.

Spis treści

Przedmowa 11

1. Pneumatyczne elementy napędowe – zasada doboru 13

1.1. Siłowniki pneumatyczne 15

1.2. Dobór siłowników 18

Wykonanie ćwiczenia 25

2. Zawory pneumatyczne i ich dobór 29

2.1. Podział zaworów 29

2.2. Oznaczenia i działanie zaworów rozdzielających 31

2.3. Zawory dławiąco-zwrotne 34

2.4. Symbole graficzne elementów pneumatyki 38

2.4.1. Elementy napędowe i przetwarzania energii 38

2.4.2. Zawory sterujące kierunkiem przepływu 41

2.4.3. Zawory sterujące wielkością przepływu 43

2.4.4. Zawory sterujące ciśnieniem powietrza 44

2.4.5. Źródła i nośniki energii lub sygnału 44

2.4.6. Elementy przygotowania powietrza 45

2.4.7. Sposoby sterowania zaworami 46

2.4.8. Pneumatyczne elementy strumieniowe i podciśnieniowe 48

2.4.9. Przyrządy pomiarowe, czujniki i przetworniki 48

Wykonanie ćwiczenia 49

3. Podstawy projektowania układów sterowania pneumatycznego 55

3.1. Rysowanie układów pneumatycznych 56

3.2. Układy ręcznego sterowania siłownikami 58

3.3. Cyklogram pracy 60

Wykonanie ćwiczenia 63

4. Podstawowe układy sterowania 69

4.1. Układy formowania sygnału 69

4.2. Układy pamięciowe 72

4.3. Układy pracujące w cyklu pojedynczym 73

Wykonanie ćwiczenia 75

5. Układy sterowania pneumatycznego w praktyce 81

5.1. Przygotowanie sprężonego powietrza 81

5.2. Elementy wykorzystywane w ćwiczeniu 88

Wykonanie ćwiczenia 92

6. Podstawy elektropneumatyki 99

6.1. Elementy sterowania elektrycznego 100

6.1.1. Łączniki elektromagnetyczne 100

6.1.2. Łączniki sterownicze 103
6.2. Zawory elektropneumatyczne 105
Wykonanie ćwiczenia 108

7. Układy sterowania elektropneumatycznego w praktyce 119
7.1. Elementy elektropneumatycznych układów sterowania wykorzystywane w laboratorium 119
7.1.1. Zasilacz elektryczny 119
7.1.2. Zestaw do łączenia sygnałów wejściowych 120
7.1.3. Zestaw przekaźników elektrycznych 121
7.1.3. Zestaw wskaźników 123
7.2. Elementy elektropneumatyczne wykorzystywane w ćwiczeniu 124
Wykonanie ćwiczenia 126

8. Wykorzystanie czujników w układach sterowania 131
8.1. Czujniki w układach pneumatycznych 131
8.1.1. Elektryczny łącznik krańcowy 131
8.1.2. Czujnik magnetyczny 132
8.1.3. Indukcyjny czujnik zbliżeniowy 134
8.1.4. Pojemnościowy czujnik zbliżeniowy 134
8.1.5. Optyczny czujnik zbliżeniowy 135
8.1.5. Czujnik ciśnienia 138
8.2. Elementy wykorzystywane w ćwiczeniu z grupy czujników 139
Wykonanie ćwiczenia 142

9. Proste swobodnie programowalne systemy sterowania 149
9.1. Zasada działania sterownika programowalnego 151
9.1.1. Podstawowe funkcje logiczne 152
Funkcja tożsamości YES 152
Funkcja negacji NOT 153
Funkcja iloczynu logicznego AND 155
Funkcja sumy logicznej OR 156
9.1.2. Przykład struktury sterowania 159
9.2. Programowalne sterowniki logiczne (PLC) 161
9.2.1. Informacje ogólne 161
9.2.2. Symbole logiczne stosowane w oprogramowaniu FluidSIM 162
9.2.3. Układ sterowania wykorzystujący sterownik logiczny (PLC) 163
9.2.4. Sekwencyjny układ sterowania 165
Wykonanie ćwiczenia 168

10. Zestaw dydaktyczny MacLab – projektowanie układów 175
10.1. Stanowisko magazynowania, wydawania i montażu 176
10.1.1. Znaczenie techniczne 176
10.1.2. Elementy stanowiska stacji magazynowania, wydawania i montażu 177
10.1.3. Przykładowe zadanie 180

10.2. Stanowisko transportu i segregowania 182
10.2.1. Znaczenie techniczne 182
10.2.2. Elementy stanowiska transportu i segregowania 183
10.2.3. Przykładowe zadanie 185
10.3. Stanowisko przenoszenia 187
10.3.1. Znaczenie techniczne 187
10.3.2. Elementy stanowiska przenoszenia 189
10.3.3. Przykładowe zadanie 192
Wykonanie ćwiczenia 195

11. Zestaw dydaktyczny MacLab – programowanie sterownika 199
11.1. Komunikacja EasyPort z programem FluidSIM 200
Wykonanie ćwiczenia 202

12. Podstawy programowania zaawansowanych sterowników PLC 209
12.1. Budowa sterownika PLC 212
12.2. Cykl pracy sterownika 214
12.3. Oprogramowanie TIA Portal – konfiguracja sterownika 217
12.4. Programowanie sterowników w języku LD 221
12.5. Przesyłanie programu do sterownika i analiza jego działania 232
Wykonanie ćwiczenia 233

13. Wstęp do programowania robotów 237
13.1. Języki programowania robotów 241
13.2. Podstawy teoretyczne programowania robotów 246
13.3. Wprowadzenie do programowania robota Kawasaki RS003N 249
13.3.1. Podstawowe informacje o programatorze ręcznym 249
13.3.2. Podstawowe informacje o ekranie programatora ręcznego 257
13.3.3. Szczegółowe informacje o ekranie programatora ręcznego 260
Wykonanie ćwiczenia 262

14. Konfiguracja elementów bezpieczeństwa 269
14.1. Środki techniczne a bezpieczeństwo maszyn 271
14.2. Kurtyny i bariery świetlne 275
14.3. Zasady doboru kurtyn świetlnych 277
Wykonanie ćwiczenia 284

Bibliografia 287

Wzór sprawozdania 289

Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych

Podręcznik stanowi kompendium wiedzy z obszaru kształcenia w zakresie automatyzacji i robotyzacji procesów produkcyjnych. Każdy z rozdziałów zawiera wprowadzenie teoretyczne. Rozdziały obejmują zagadnienia: doboru pneumatycznych elementów wykonawczych, zaworów sterujących, projektowania układów pneumatycznych, projektowania układów sterowania, wykorzystania czujników, programowania prostych i złożonych sterowników programowalnych PLC (Programmable Logic Controllers), programowania robotów oraz zapewnienia bezpieczeństwa w zakresie obsługi maszyn. Zawarte tu informacje obejmują wiadomości ogólne i szczegółowe związane z budową, funkcjonowaniem i konfigurowaniem omawianych elementów służących automatyzacji produkcji. Wiadomości te mają na celu ułatwienie studentowi przygotowanie się do zajęć praktycznych. W każdym rozdziale zawarto informacje o sposobie realizacji ćwiczenia laboratoryjnego. W podręczniku zamieszczono propozycje zadań do zrealizowania w trakcie zajęć. W instrukcji do wykonania ćwiczenia wskazano przykładowe narzędzia, którymi student może się posłużyć przy rozwiązywaniu zadania. Użycie wskazanego narzędzia nie jest obligatoryjne i może być zastąpione innym wybranym przez prowadzącego. Tematyka podręcznika została dobrana w oparciu o przeprowadzoną analizę oczekiwanych kompetencji absolwentów studiów technicznych, które są przydatne w pracy zawodowej.

Słowa kluczowe: pneumatyka przemysłowa, czujniki, sterowniki programowalne, robotyzacja, bezpieczeństwo

Automation and robotization of production processes

The textbook contains a compendium of knowledge in the field of automation and robotisation of production processes education. Each chapter presents a theoretical introduction to the topics covered. The chapters include the following topics: selection of pneumatic actuators, control valves, design of pneumatic systems, design of control units, use of sensors, programming of simple and complex programmable logic controllers (PLCs), programming of robots, and safety ensuring in the operation of machines. The information contained in this book includes general and specific knowledge related to the construction, functioning and configuration of the components addressed for production automation. The knowledge is intended to assist the student's preparation for practical exercises. Each chapter includes information on how to complete a laboratory exercise. The manual includes suggested tasks to be completed during the class. The instructions for completing the exercise indicate sample tools that the student can use to solve the task. The use of the indicated tool is not obligatory and can be replaced by another one chosen by the teacher. The topics of the handbook were selected based on the analysis of the expected competences of technical graduates, which are useful in their professional work.

Keywords: industrial pneumatics, sensors, program controllers, robotization, safety

Przedmowa

Automatyzacja procesów powoduje trwałe zmiany w warunkach pracy i życia ludzi, zapewniając wysoką produktywność i stałą jakość produktów, a jednocześnie zaspokajając stale rosnące zapotrzebowanie ludzi na technologiczne *know-how*. Dotyczy to zarówno życia zawodowego, jak i prywatnego. Jako techniczna dziedzina nauki automatyzacja łączy w sobie wiedzę z praktycznie wszystkich innych nauk technicznych. Wymaga bowiem umiejętności łączenia różnego typu systemów i komponentów. Realizację procesu zapewniają układy złożone z elementów mechanicznych, elektrycznych, informatycznych, hydraulicznych i pneumatycznych. Należy przy tym zauważyć, że elementy pneumatyczne znajdują zastosowanie prawie we wszystkich gałęziach przemysłu.

Stosowanie elementów pneumatycznych i elektrycznych w tym robotów jest nieodzownym elementem w nowych i rozwijających się branżach przemysłowych. Elementy te możemy również odnaleźć w dawno ugruntowanych gałęziach przemysłu, takich jak: przemysł maszynowy, spożywczy, motoryzacyjny i elektrotechniczny. To sprawia, że procesy produkcyjne mogą być realizowane w sposób bardziej wydajny i efektywny.

Szybki postęp w technice wymuszony ciągłym doskonaleniem procesów wytwórczych wymaga stałego poszerzania i pogłębiania rozumienia i znajomości nowych technologii, w tym sposobów integracji komponentów wchodzących w skład systemów produkcyjnych. To sprawia, że warunkiem bezpiecznego, ekonomicznego i efektywnego stosowania komponentów automatyki jest posiadanie odpowiedniej wiedzy, którą można zdobywać tylko poprzez ciągłe kształcenie.

Poznanie automatyzacji produkcji jest jednym z najtrudniejszych wyzwań akademickich, ponieważ stanowi bardzo złożony przedmiot

w programie nauczania. Nie można jej się nauczyć wyłącznie poprzez wykłady prowadzone przez nauczyciela z wykorzystaniem multimedialnych metod przekazu informacji. Zaangażowanie ekspertów w zajęcia czy też wycieczki do fabryk nie są działaniami wystarczającymi do osiągnięcia zakładanych celów uczenia się.

Nieodzownym elementem zdobycia odpowiednich kompetencji jest zapewnienie studentom możliwości nabycia praktycznej wiedzy w zakresie zautomatyzowanych systemów technicznych, obserwacji i zrozumienia interakcji podsystemów i komponentów oraz umiejętności ich montażu i demontażu. Zakładany cel można osiągnąć dopiero przez uczenie się z wykorzystaniem wszystkich dostępnych możliwości przekazu wiedzy. W tym celu na zajęciach można wykorzystać złożone modele służące poznaniu enaktywnemu.

Niniejszy podręcznik obejmuje podstawową wiedzę na temat konstrukcji oraz wykorzystania elementów automatyki w praktyce. Ostatni rozdział podejmuje tematykę związaną z bezpieczeństwem maszyn. Informacje tam zawarte zaczerpnięte są z podręcznika „Modelowanie urządzeń elektromechanicznych" [1]. Poszczególne rozdziały mają podobny układ i obejmują wiadomości ogólne związane z budową, funkcjonowaniem, konfiguracją omawianego układu lub urządzenia służącego automatyzacji procesu produkcyjnego ściśle związanego z tematem ćwiczeń. W każdym z rozdziałów zawarto informacje o przebiegu wykonania ćwiczenia wraz z wykazem zagadnień indywidualnie przydzielanych studentowi. Zadania mają charakter problemowy. W instrukcji wskazano narzędzia służące rozwiązaniu zadania, przy czym mogą być one zastąpione przez inne wskazane przez prowadzącego zajęcia lub wybrane przez studenta. Wiadomości podane w pierwszej części rozdziału mają na celu ułatwienie przygotowania się do zajęć oraz mają wprowadzić w podejmowaną tematykę. Zakłada się, że sprawozdanie z zajęć laboratoryjnych student opracowuje w trakcie ich trwania. Ma ono zawierać informacje o przeprowadzonych pracach służących rozwiązaniu zadania.

ROZDZIAŁ 1

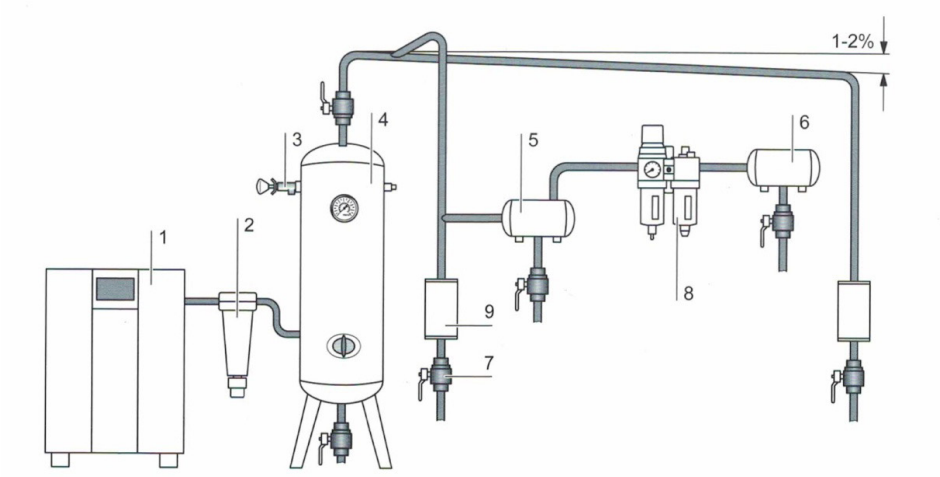
Pneumatyczne elementy napędowe – zasada doboru

Realizacja procesów technologicznych w znaczącej większości nie wiąże się z potrzebą stosowania układów realizujących złożone ruchy. To sprawia, że łącząc układy o prostych ruchach, liniowych i obrotowych, można w łatwy sposób zautomatyzować procesy produkcyjne, wykorzystując do tego celu pneumatyczne układy napędowe i sterujące [1]. W układach tych jako nośnik energii wykorzystuje się sprężone powietrze. Do sprężania powietrza używa się sprężarki, a następnie poprzez sieć przewodów i innych urządzeń towarzyszących dostarcza się energię do odbiorników. Jednym z ograniczeń stosowania tych systemów i ich centralizacji jest ograniczenie wynikające z możliwości transportu powietrza na większe odległości z uwagi na spadek ciśnienia w sieci transmisyjnej. Wpływ spadku ciśnienia, jak i wydolności sieci, ogranicza się poprzez stosowanie akumulatorów energii w postaci zbiorników służących do magazynowania sprężonego powietrza, które usytuowane są w pobliżu jednostek roboczych charakteryzujących się znacznym chwilowym zapotrzebowaniem na energię [2].

Sieć sprężonego powietrza składa się z następujących podstawowych elementów:

- sprężarka,
- separator wilgoci,
- zawór bezpieczeństwa,
- centralny zbiornik sprężonego powietrza,
- pośredni zbiornik sprężonego powietrza,
- zbiornik powietrza przed maszyną technologiczną,
- zawór spustowy kondensatu,
- zespół przygotowania powietrza dla maszyny technologicznej,
- zbiornik kondensatu.

Na rysunku. 1.1 przedstawiono schemat sieci sprężonego powietrza.



Rys. 1.1. Schemat układu zasilania i sieci sprężonego powietrza [3]

Różnorodność zastosowań techniki sprężonego powietrza wynika przede wszystkim z zalet, do których zalicza się [2]:

- dostępność sieci sprężonego powietrza,
- ogólna dostępność elementów wykonawczych,
- prosta konstrukcja napędów wpływająca na wysoką niezawodność,
- możliwość gromadzenia sprężonego powietrza w zbiornikach,
- odporność mechanizmów na przeciążenia,
- wysoka powtarzalność pozycjonowania dla ograniczonej liczby położeń,
- odporność na warunki zewnętrzne, takie jak: wilgotność, zapylenie, temperatura, wibracje,
- możliwość pracy w środowiskach zagrożonych wybuchem,
- możliwość płynnej regulacji prędkości i siły.

Do wad napędów pneumatycznych należy zaliczyć [2]:

- konieczność przygotowania powietrza i jego przesyłu,
- ograniczony zakres uzyskiwanych sił,
- duża zmienność prędkości w zależności od obciążenia,
- generowanie hałasu w wyniku uwalniania powietrza do atmosfery,
- konieczność stosowania układów amortyzujących w skrajnych położeniach napędu,
- ściśliwość powietrza powodująca małą sztywność napędu, a przez to dokładność pozycjonowania,
- skłonność do drgań, zwłaszcza przy dużych prędkościach przepływu powietrza.

Jako podstawowe grupy elementów pneumatycznych układów napędu i sterowania, można wymienić [4]:

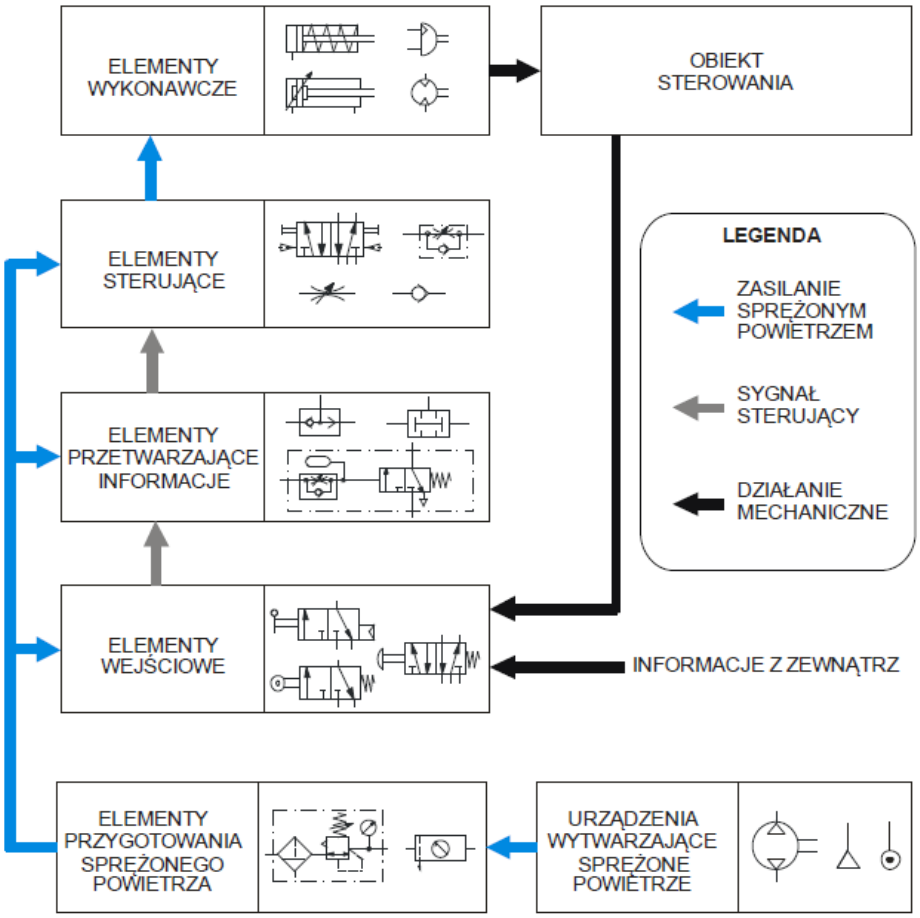
- elementy wykonawcze (siłowniki i silniki pneumatyczne),
- elementy sterujące pracą członów wykonawczych (m.in. zawory rozdzielające, zawory zwrotne, dławiące, reduktory ciśnienia),
- elementy przetwarzające informacje (zawory: logiczne rozdzielające, opóźniające, progowe, sekwencyjne, wyspy zaworowe, sterowniki pneumatyczne),
- elementy wejściowe (przyciski, dźwignie, łączniki drogowe),
- elementy przygotowania sprężonego powietrza (filtry, reduktory, smarownice, elementy kontrolne),
- elementy wytwarzania sprężonego powietrza (sprężarki, zbiorniki, osuszacze),
- elementy do magazynowania sprężonego powietrza (zbiorniki),
- przewody zasilające i sterujące.

1.1. Siłowniki pneumatyczne

Na rysunku. 1.2 przedstawiono schemat blokowy układu pneumatycznego, z wyszczególnieniem podstawowych grup elementów pneumatyki. Wskazano na nim możliwe wzajemne oddziaływanie i przepływ strumieni zarówno zasilających, jak i sygnałów sterujących. Jak wynika ze schematu, źródłem energii w układach pneumatycznych jest sprężone powietrze wytwarzane w sprężarkach.

Ciśnienie w układach pneumatycznych najczęściej nie przekracza 1 MPa. W celu ustalenia wartości ciśnienia roboczego dla urządzeń wykonawczych stosowane są zawory redukcyjne. Do ustawienia przepływu (wydajności objętościowej lub masowej) stosuje się zawory dławiące. Dla zadań inżynierskich można przyjąć, że czynnik roboczy, jakim jest sprężone powietrze, jest praktycznie nieczuły na wahania temperatury otoczenia. Zmiany temperatury powietrza są istotne jedynie z punktu widzenia skraplania się pary w powietrzu, czyli „punktu rosy” [4].

Do podstawowych elementów wykonawczych pneumatycznych układów napędowych należy zaliczyć: siłowniki i silniki pneumatyczne. Energia sprężonego powietrza jest w nich zamieniana na ruch postępowo-zwrotny lub obrotowy.



Rys. 1.2. Schemat blokowy układu pneumatycznego [5]

Siłowniki można podzielić na [2]:

- Siłowniki standardowe; siłowniki te są znormalizowane pod względem średnicy tłoczyska, mogą posiadać jednostki zaciskowe, jak i zabezpieczenie przed obrotem tłoczyska, korpus siłownika może być rurowy bądź kształtowy i zapewnia on różne sposoby mocowania.
- Siłowniki krótkoskokowe; mają małe wymiary gabarytowe, a ich krótki skok powoduje, że są na ogół używane jako elementy mocujące lub manipulujące.
- Siłowniki beztłoczyskowe; posiadają zwartą konstrukcję i występują w dwóch odmianach: ze sprzężeniem mechanicznym i ze sprzężeniem magnetycznym wózka z tłokiem.

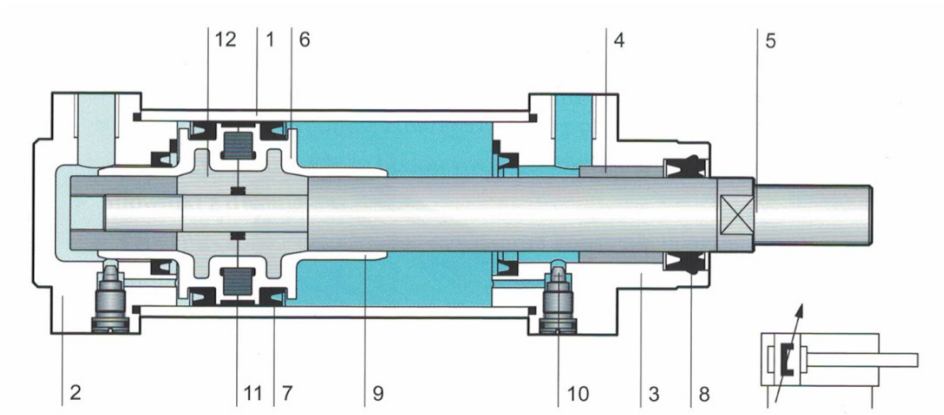
- Siłowniki o ruchu wahadłowym; z tłokiem łopatkowym, wałkiem zębatym lub napędy obrotowo-liniowe.
- Siłowniki zaciskowe; moduły mocujące, zaciski liniowo-obrotowe, siłowniki przegubowe.
- Napędy z prowadzeniem; napędy z wózkiem, napędy z prowadnicami walcowymi.
- Siłowniki typu tandem; siłowniki o dużej sile, siłowniki wielopołożeniowe.
- Siłowniki zderzakowe; umożliwiające zatrzymanie poruszającego się obiektu, jak też separację.
- Napędy membranowe i siłowniki mieszkowe.

Ze względu na kierunek wymuszenia przemieszczenia przez sprężone powietrze siłowniki można podzielić na [2]:

- Siłowniki jednostronnego działania, w których sprężone powietrze działa w jednym kierunku, wykonując pracę, powrót tłoka siłownika jest realizowany z wykorzystaniem zabudowanej w konstrukcji sprężyny lub poprzez działanie sił zewnętrznych.
- Siłowniki dwustronnego działania, w których sprężone powietrze wykonuje pracę, działając w obu kierunkach ruchu.

Na rysunku 1.3 przedstawiono schemat siłownika dwustronnego działania z obustronną amortyzacją. Siłownik taki składa się z korpusu, który jest najczęściej profilem lub tuleją (1) pokrywy tylnej (2) i przedniej (3). W pokrywie przedniej umieszczona jest tuleja prowadząca (4). Tłoczysko (5) połączone jest z tłokiem (6), na którym zamocowane są uszczelnienia (7). Tłok osadzony jest na tłoczysku przy wykorzystaniu elementów złącznych (12). Pierścień zgarniający (8) chroni przed przedostawaniem się zanieczyszczeń do środka cylindra w trakcie pracy siłownika. Przed uderzeniem tłoka w pokrywy chronią amortyzatory. Jako amortyzatorów używa się pierścieni gumowych, systemu samonastawnego lub systemu dławiącego regulowanego. W ostatnim przypadku działanie hamujące realizowane jest na końcowym odcinku skoku siłownika. W tym rozwiązaniu na tłoczysku zabudowana jest tuleja (9), a w pokrywach znajdują się uszczelnienia. Dzięki temu w końcowej fazie ruchu tłoczyska odcinany jest swobodny wypływ powietrza i może on się odbywać wyłącznie przez zawór dławiąco-zwrotny (10). Ograniczenie przekroju występujące na zaworze powoduje, że tłok siłownika dosuwa się wolniej do skrajnego położenia. Podczas zmiany kierunku ruchu zawór nie dławi powietrza, co spra-

wia, że ciśnienie działa na całą powierzchnię tłoka, realizując zamierzone przemieszczenie. Bezdotykowa sygnalizacja położenia tłoka jest możliwa poprzez umieszczony w tłoku magnes (11), który jest wykrywany poprzez bezstykowe czujniki położenia. Czujniki montowane są na tulei siłownika lub w rowkach tulei kształtowej [6].



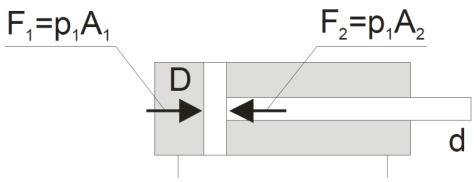
Rys. 1.3. Schemat siłownika dwustronnego działania z obustronną amortyzacją [3]

Danymi wejściowymi do określania wielkości liniowego siłownika napędowego są zazwyczaj:

- siła użyteczna (obciążenie) F_u,
- zakres ruchu (skok) s,
- charakter obciążenia (obciążenie na całej długości skoku, na początku skoku lub na końcu itp.).

1.2. Dobór siłowników

Dobór wymiaru siłownika pneumatycznego jest uzależniony od dwóch podstawowych parametrów: siły rozwijanej przez siłownik przy zadanym ciśnieniu oraz prędkości ruchu. Dobór siłownika poprzedzony jest przeprowadzeniem obliczeń mających na celu określenie nominalnej średnicy siłownika (D_N) i zużycia powietrza przez ten siłownik (Q) oraz sprawdzenie rzeczywistego czasu ruchu tłoczyska (t).



Rys. 1.4. Schemat układu sił w siłowniku tłoczyskowym [4]

Teoretyczną siłę nadtłokową lub podtłokową siłownika dwustronnego działania (rys. 1.4) obliczamy ze wzoru:

$$F_{th} = p \cdot A$$

gdzie:

p – ciśnienie powietrza [Pa],

A – czynna powierzchnia tłoka [m²],

$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ – do obliczenia siły nadtłokowej,

$A_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$ – do obliczenia siły podtłokowej,

D – średnica tłoka [m],

d – średnica tłoczyska [m],

Należy przy tym pamiętać, że rzeczywista siła na tłoczysku siłownika zależy od zmian ciśnienia w czasie napełniania i opróżniania komór siłownika oraz siły tarcia na elementach prowadzących i uszczelniających. Z analizy wpływu czynników wynika, że przy doborze siłownika pneumatycznego należy wziąć pod uwagę:

- obciążenie siłą dynamiczną zależną od masy *m* zredukowanej do osi tłoka;
- żądany czas ruchu t, który decyduje o przyspieszeniu *a* ruchu tłoka;
- obciążenie siłownika siłami zewnętrznymi P_o, siłami tarcia T, siłami ciężkości G;
- siłę P_p przeciwciśnienia w komorze opróżniania siłownika;
- skok siłownika s.

Wartość wymaganej siły rozwijanej przez siłownik można określić z równania:

$$F_n = m \cdot a + P_0 + G + T + P_p$$

Wyznaczenie wymaganej wartości siły F_n rozwijanej przez siłownik z podanego wzoru jest trudne z uwagi na nieliniowy charakter niektórych składowych oraz trudności w określeniu ich rzeczywistej wartości (np. siły tarcia). Dlatego przy doborze siłownika nie rozwiązuje się tego równania, tylko określa procentowo stosunek poszczególnych sił. Przyjmuje się przy tym, że sumaryczna siła obciążenia tłoczyska P wynosi:

$$P = P_0 + G + T$$

I powinna zawierać się w granicach 60–75% siły teoretycznej rozwijanej przez siłownik. Stosunek siły tłoczyska siłownika do siły teoretycznej F_{th} na tłoczysku siłownika nazywany jest współczynnikiem obciążenia tłoczyska η:

$$\eta = \frac{P}{F_{th}}$$

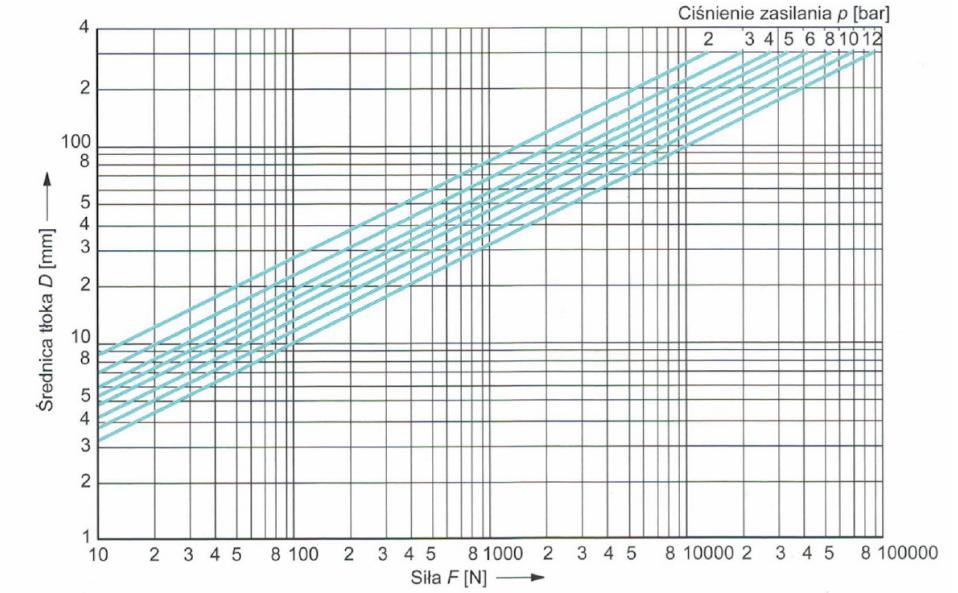
W kartach charakterystyk siłowników można odnaleźć informacje o teoretycznej sile rozwijanej przez wybrany siłownik (tabela 1.1).

Tabela 1.1. Dane techniczne siłownika DSBC, ISO 15552 [7]

Siły [N] i energia uderzenia [J]							
TłokØ	**32**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**
Siła teoretyczna przy wysuwie dla 6 bar	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
Siła teoretyczna przy cofaniu dla 6 bar	415	633	990	1682	2721	4418	6881
Maks. energia uderzenia w położeniach końcowych							
DSBC-…	0.4*	0.7	1.0	1.3	1.8	2.5	3.3
DSBC-…-L/-U/-L1/-T1/-T3/-T4	0.2*	0.35	0.5	0.65	0.9	1.25	1.65
Statyczna siła trzymania [N]	600	1000	1400	2000	5000	5000	7500

*Maks. energia w kombinacji z mocowaniem wahliwym DAMT wynosi 0,1 J

Siłę osiąganą przez siłownik można również odczytać z nomogramu (rys. 1.5). Prezentowany wykres przedstawia zależność siły od średnicy tłoka dla różnych wartości ciśnienia zasilania.



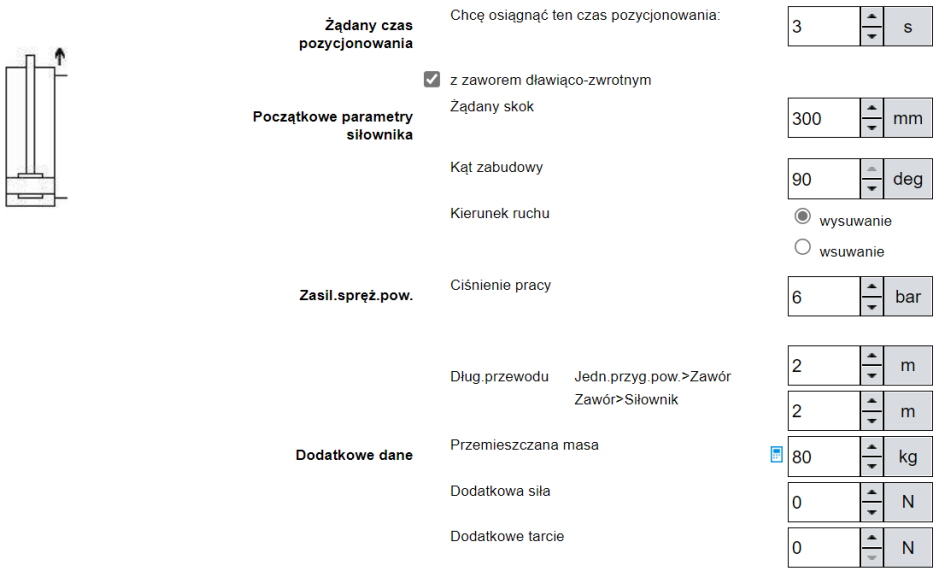
Rys. 1.5. Nomogram zależności średnicy tłoka od siły i skoku siłownika dla wybranych wartości ciśnienia roboczego [8]

Zalecane wartości współczynnika η podano w tabeli 1.2.

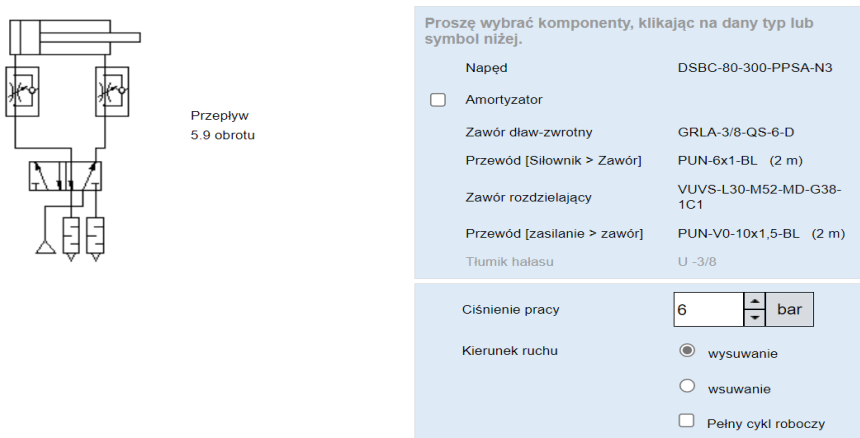
Tabela 1.2. Wartość współczynnika η dla siłowników tłokowych [4]

Sposób pracy	Wartości współczynnika η
Ruch powolny, obciążenie działające na końcu skoku	0,8
Ruch szybki, obciążenie działające na końcu skoku lub ruch powolny, obciążenie działające na całym skoku	0,75
Ruch szybki, obciążenie działające w przybliżeniu na całym skoku	0,65

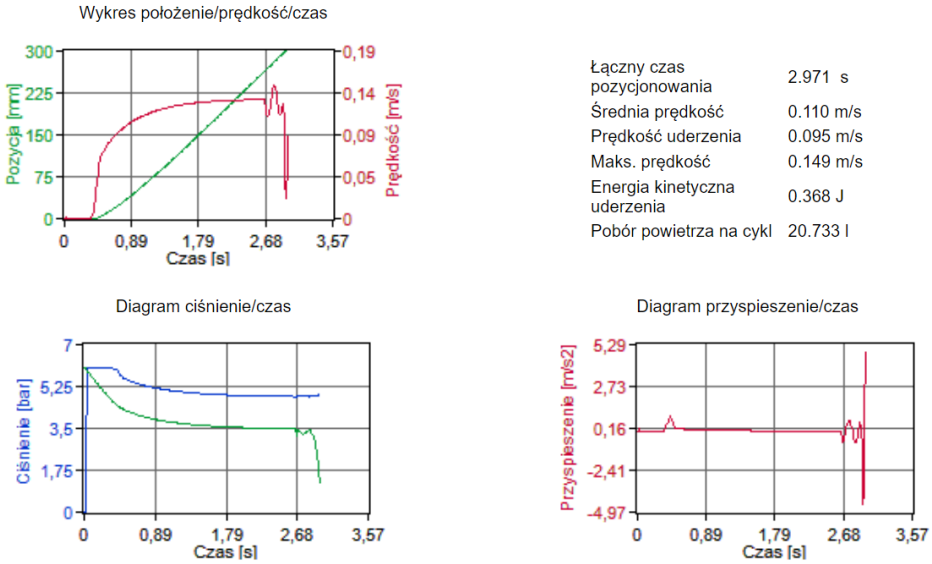
Wyżej opisane obliczenia można przeprowadzić również z wykorzystaniem kreatorów konfiguracji dostępnych na stronach producentów siłowników. Na rysunku 1.6 przedstawiono przykładowe dane do doboru siłownika. Na rysunku 1.7 i 1.8 zaprezentowano wyniki doboru wraz z symulacją procesu działania napędu.



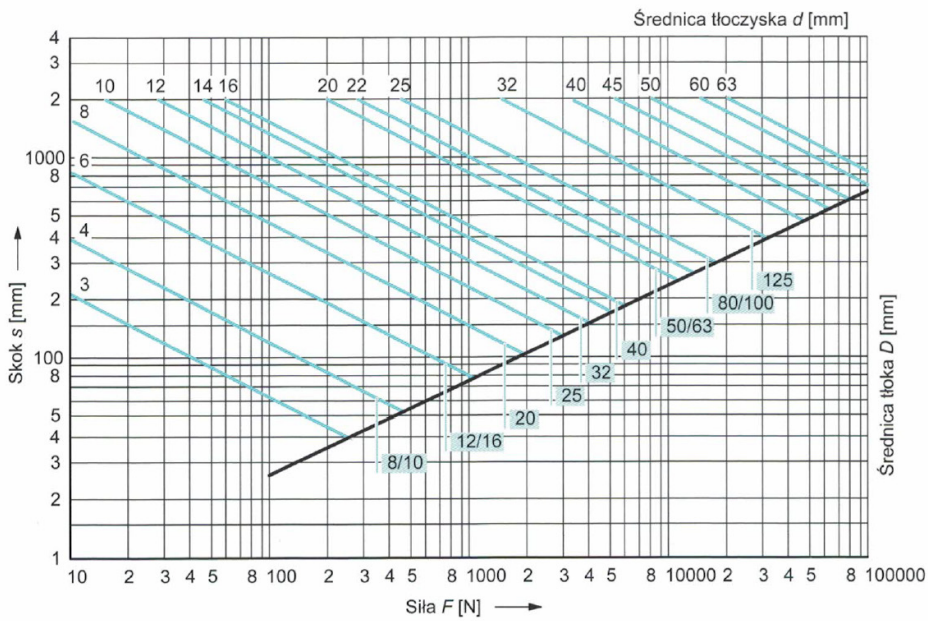
Rys. 1.6. Parametry systemu – wybór głównych ustawień [9]



Rys. 1.7. Wybór komponentów do procesu symulacji [9]

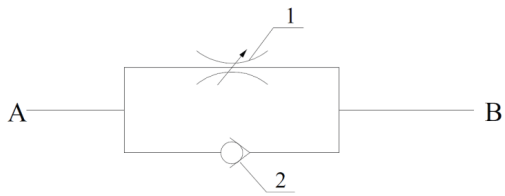


Rys. 1.8. Wyniki symulacji [9]



Rys. 1.9. Nomogram granicznej wartości skoku siłownika w zależności od siły, średnicy tłoka i średnicy tłoczyska [8]

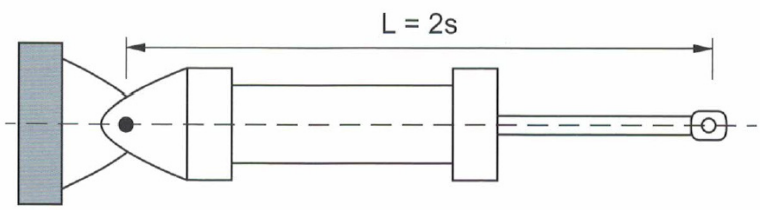
W układach pneumatycznych bardzo często wykorzystywany jest zawór dławiąco-zwrotny (rys. 1.10). Zawór ten jest połączeniem dwóch rodzajów zaworów – dławiącego i zwrotnego. W tym przypadku powietrze ulega zdławieniu przy przepływie od punktu A do punktu B. Przy odwrotnym kierunku przepływu powietrze przepływa przez zawór zwrotny i nie jest dławione.



Rys. 1.10. Symbol zaworu dławiąco-zwrotnego, 1 – dławiący, 2 – zwrotny [10]

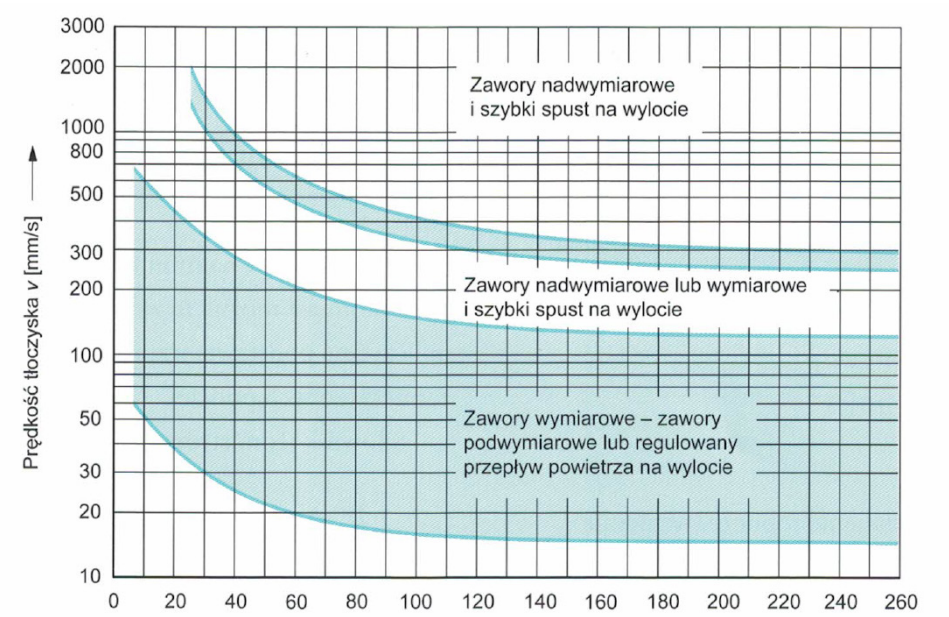
W konstrukcji siłownika przedstawionej na rysunku 1.3 wykorzystywane są zabudowane zawory zwrotne. Sterowanie nimi, jak i zaworami zewnętrznymi dławiąco-zwrotnymi, polega na wkręceniu śruby regulacyjnej, a następnie wykręceniu o określoną liczbę obrotów, jak przedstawiono na rysunku 1.10 (przepływ 5,9 obrotu).

Kolejnym z parametrów, istotnych z punktu widzenia konfiguracji siłownika, jest jego długość skoku. Długość skoku siłownika jest uzależniona od zadania, jakie realizuje on w danej maszynie lub urządzeniu. Skok siłownika tłoczyskowego z reguły nie przekracza 2800 mm. Wynika to z jego sztywności i podatności na wyboczenie. Na dopuszczalną długość siłownika ma również wpływ pozycja montażu i jego konstrukcja, a także średnica tłoka. W celu sprawdzenia, czy przy danej średnicy tłoczyska nie dojdzie do wyboczenia siłownika można posłużyć się wykresem (rys. 1.9). Należy przy tym pamiętać, że nomogram ten odnosi się do najmniej korzystnego typu montażu siłownika, tj. obustronnego montażu wahliwego (rys. 1.11).



Rys. 1.11. Schemat montażu wahliwego siłownika tłokowego [3]

Osiągana przez siłowniki prędkość tłoka jest zależna od sił obciążających, ciśnienia zasilającego, długości przewodów i ich przekroju pomiędzy zaworem sterującym a siłownikiem oraz od natężenia przepływu sprężonego powietrza przez zawór sterujący. Średnia prędkość ruchu tłoka typowych siłowników pneumatycznych wynosi od 0,1 m/s do 1,5 m/s. W przypadku siłowników uderzeniowych może osiągać wartość nawet 10 m/s. Tę prędkość można regulować również przy użyciu zaworów dławiących lub dławiąco-zwrotnych. Odpowiednio dobierając zawory, możemy wpływać na zmiany prędkości tłoczyska. Na rysunku 1.12 przedstawiono wykres poglądowy zależności prędkości tłoka od średnicy przy zastosowaniu różnych kombinacji zaworów [6].



Rys. 1.12. Nomogram do przybliżonego doboru elementów pneumatycznego układu napędowego [3]

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności doboru pneumatycznych napędów liniowych.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia można skorzystać z oprogramowania QuickSearchPlus (Engieering – Symulacja układu pneumatycznego) dostępnego na stronie www.festo.com. Możliwy jest dostęp bezpośredni ze strony poprzez zakładkę produkty/engineering. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do realizacji ćwiczenia.

Treść zadania

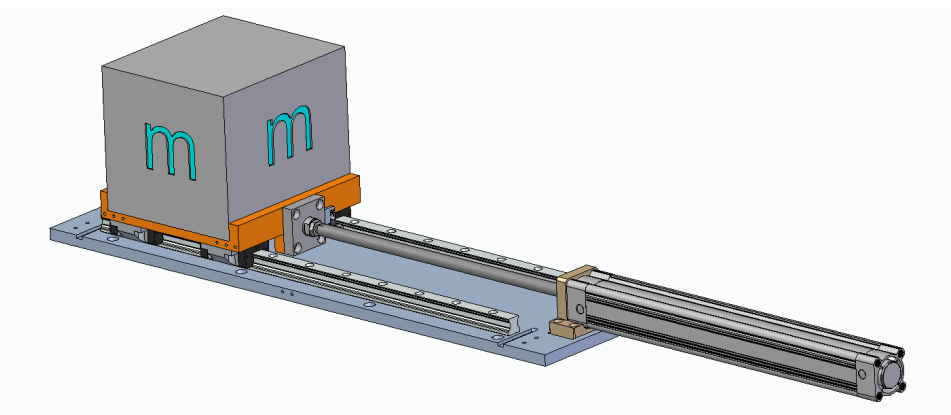
Zadanie 1

Dobierz siłownik do niżej opisanej aplikacji.

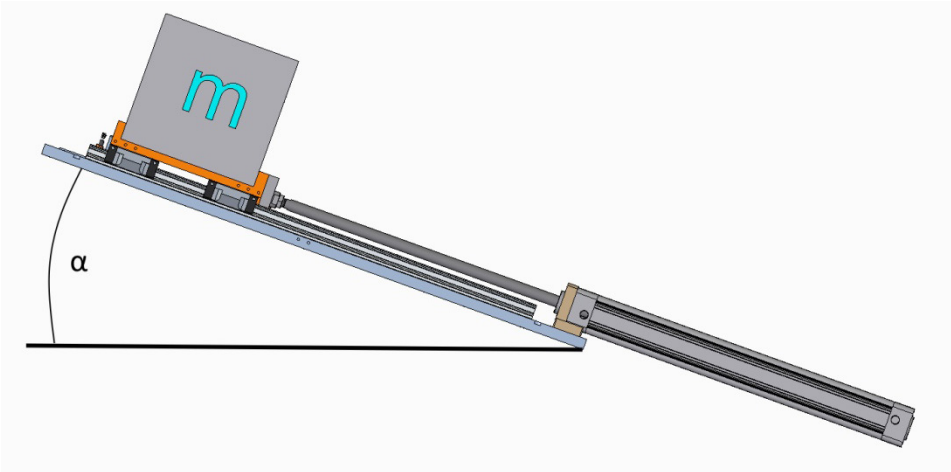
Należy przemieścić platformę z ładunkiem (rys. 1.13) na odległość S [mm]. Platforma jest przemieszczana po prowadnicach szynowych z wózkami kulkowymi, dla których współczynnik tarcia wynosi $\mu = 0{,}01$. Masa elementów ruchomych transferu wynosi 15 kg. Masa przenoszonego ładunku wynosi m [kg]. Kąt nachylenia układu transportowego wynosi α [°] (rys. 1.14). Przemieszczenie ma być zrealizowane w czasie t [s] według schematu: wysuwanie ⇧, wsuwanie ⇩, pełny cykl roboczy ⇳. Nie przewiduje się użycia dodatkowych amortyzatorów w położeniach końcowych.

Wykaz parametrów do zadania umieszczono w tabeli 1.3.

1. Należy przeprowadzić obliczenia wielkości napędu zgodnie z dostępnymi wzorami. Na podstawie uzyskanych wyników należy dobrać wielkość napędu oraz podać jego oznaczenie symbolowe.
2. Korzystając z oprogramowania symulacyjnego, należy przeprowadzić obliczenia napędu oraz jego optymalizację dla podanych warunków obciążeniowych.

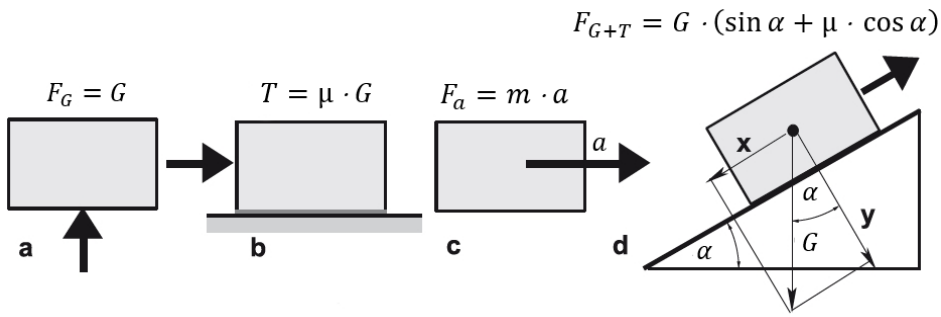


Rys. 1.13. Widok układu przeniesienia napędu



Rys. 1.14. Schemat ustawienia układu przeniesienia napędu

Podczas obliczeń należy zwrócić uwagę na wartość składowych sił działających na obciążenie (rys. 1.15).



Rys. 1.15. Schemat działania sił na obciążenie

Tabela 1.3. Wykaz parametrów

Przypadek	a	b	c	d	e	f	g	h	i
S [mm]	200	300	400	500	600	700	650	750	800
m [kg]	100	80	90	30	20	20	15	25	60

Tabela 1.4. Wykaz parametrów

Przypadek	1	2	3	4	5	6
T [s]	3	5	3	6	8	7

Tabela 1.5. Wykaz parametrów

Przypadek	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a [°]	0	15	30	45	60	75	90	-90	-45

Sprawozdanie powinno zawierać:

- niezbędne założenia i obliczenia,
- kolejno przedstawione etapy doboru,
- wyniki doboru z omówieniem i wnioskami.

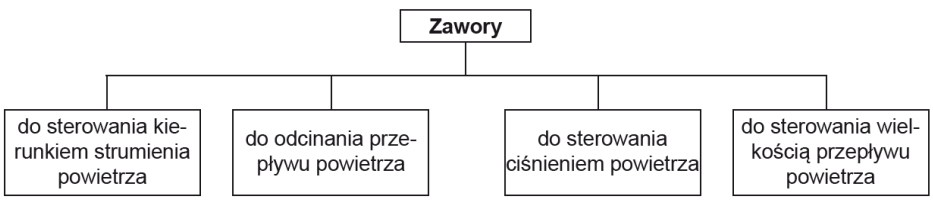
ROZDZIAŁ 2

Zawory pneumatyczne i ich dobór

Przed wyborem odpowiedniego zaworu należy określić podstawowe i dodatkowe kryteria jego wyboru.

2.1. Podział zaworów

Zawory w układach pneumatycznych pełnią wiele funkcji. Są m.in. elementami wejściowymi, elementami przetwarzającymi informację czy też elementami, które sterują pracą elementów napędowych. Pełnią role urządzeń sterujących. Mogą pracować jako elementy przełączające, realizujące funkcje logiczne, przetwarzające sygnały, uruchamiające i zatrzymujące układy napędowe, zmieniające kierunek ruchu, regulujące ciśnienia oraz natężenie przepływu powietrza [2]. Ogólnie zawory można podzielić w zależności od realizowanej przez nie funkcji (rys. 2.1):



Rys. 2.1. Podział zaworów według ich funkcji [11]

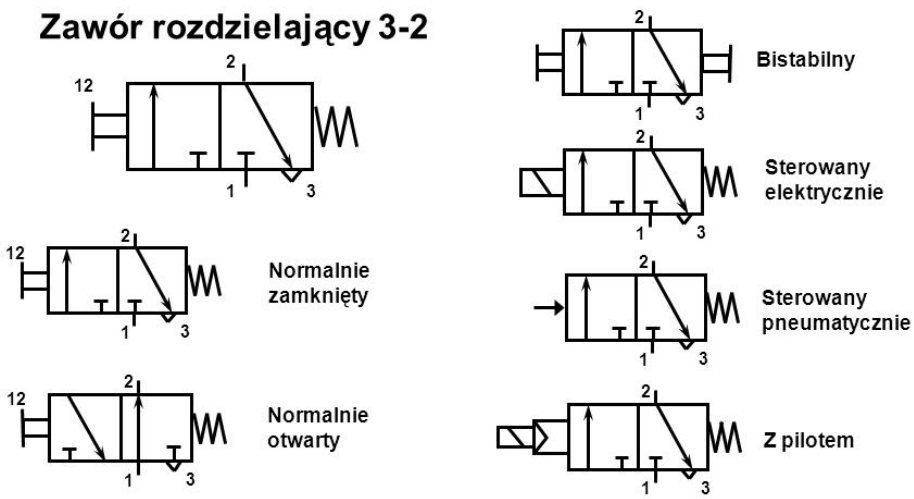
Sterowanie zaworami może być realizowane:

- siłą mięśni – przyciskiem, dźwignią,
- mechanicznie – popychaczem,
- elektrycznie – elektromagnesem,
- ciśnieniem – minisiłownikiem powodującym przełączenie.

Do grupy zaworów sterujących kierunkiem przepływu należą następujące podgrupy zaworów:

- zawory rozdzielające,
- zawory zwrotne,
- zawory szybkiego spustu,
- zawory odcinające,
- zawory – przełączniki obiegu,
- zawory podwójnego sygnału.

Zawory rozdzielające to elementy sterujące kierunkiem przepływu sprężonego powietrza. Ich zadaniem jest otwieranie i zamykanie dróg przepływu w zależności od pozycji elementu sterującego. To powoduje, że rozdzielacz kieruje powietrze do określonych elementów układu pneumatycznego. Zawory tego typu występują również w konstrukcji umożliwiającej realizację zadań zaworów proporcjonalnych lub zaworów redukcyjnych. Na rysunku 2.2 przedstawiono przykładowe oznaczenie zaworu trójdrogowego dwupołożeniowego w różnych dostępnych wersjach stanu i sterowania [2].



Rys. 2.2. Symbol rozdzielacza trójdrogowego dwupołożeniowego [2]

Do podstawowych cech zaworów rozdzielających należy zaliczyć:

- liczbę dróg, czyli liczbę doprowadzonych przyłączy,
- liczbę zajmowanych położeń,
- rodzaj sterowania,

- rozwiązanie konstrukcyjne elementu przełączającego.

Zgodnie z normą ISO 1219 otwory wejściowe i wyjściowe zaworów są oznaczone liczbami. Często stosuje się również oznaczenia literowe. Najczęściej używane oznaczenia dla zaworów pneumatycznych są wymienione w tabeli 2.1. W ostatnim wierszu podano oznaczenia zgodnie z obecnie obowiązującą normą ISO.

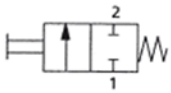
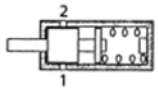
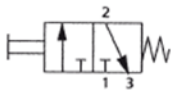
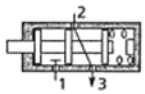
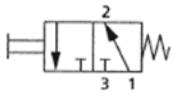
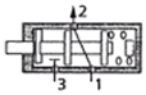
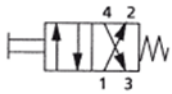
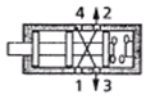
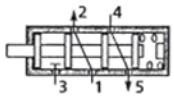
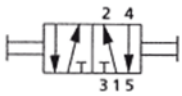
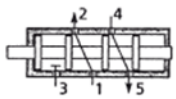
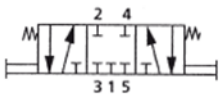
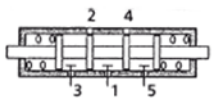
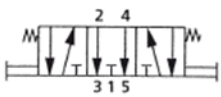
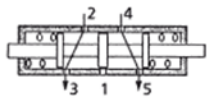
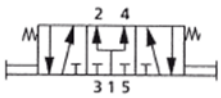
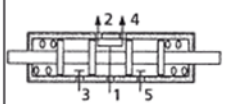
Tabela 2.1. Najczęściej używane oznaczenia dla otworów wejściowych i wyjściowych zaworów [11]

Zasilanie	Wyjście		Odpowietrzenie		Wejście sterujące	
1	4	2	5	3	12	14
P	A	B	EA	EB	PA	PB
P	A	B	R	S	Z	Y
P	A	B	R1	RS	Z	Y

Zawory sterujące dzieli się również na monostabilne i bistabilne. Zawory monostabilne powracają do położenia wyjściowego natychmiast po zaniku sygnału sterującego. Sygnał sterujący zaworem (elektryczny, mechaniczny, ręczny itd.) musi trwać tak długo, jak długo zawór musi znajdować się w żądanym położeniu. Zawory bistabilne nie mają definiowanego położenia wyjściowego. Do ich sterowania są potrzebne dwa niezależne od siebie impulsy sterujące. Zawór bistabilny po przełączeniu pozostaje w takim położeniu, jakie zostało mu nadane przez ostatni impuls.

2.2. Oznaczenia i działanie zaworów rozdzielających

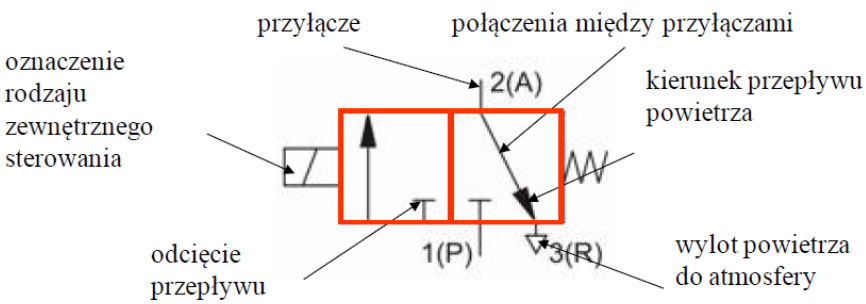
Zawory na rysunkach układów oznacza się symbolami graficznymi. Pozwala to na jednoznaczne określenie realizowanej przez nie funkcji. Na rysunku 2.3 przedstawiono wybrane symbole zaworów, schematy konstrukcyjne i funkcyjne oraz objaśnienie funkcji i możliwości zastosowania zaworu. Jak można zauważyć, zawory przedstawia się jako kwadrat lub zespół przylegających do siebie kwadratów uzupełnionych symbolami.

Symbol	Schemat funkcjonalny	Funkcja	Zastosowanie
		2/2 wejście/wyjście bez odpowietrzania	Pneumatyczne silniki i narzędzia
		3/2 zamknięty w położeniu spoczynkowym (N.C)	Siłowniki jednostronnego działania i sygnały sterujące
		3/2 otwarty w położeniu spoczynkowym (N.O)	Siłowniki jednostronnego działania i sygnały sterujące
		4/2, przełącza wyjścia „2" i „4" na zasilanie „1" i odpowietrzenie „3"	Siłowniki dwustronnego działania
		5/2, przełącza wyjścia „2" i „4" na zasilanie „1" i odpowietrzenie „3" i „5"	Siłowniki dwustronnego działania
		5/2 ze sterowaniem impulsowym (bistabilny)	Napędy dwustronnego działania pozostają w pozycji nadanej przez ostatni impuls sterujący
		5/3 z zamkniętym położeniem środkowym	Napędy dwustronne z możliwością unieruchomienia w dowolnym położeniu pośrednim
		5/3 z odpowietrzniem w położeniu środkowym	Napędy dwustronne z możliwością odpowietrzenia obu komór napędowych
		5/3 pod ciśnieniem w położeniu środkowym	Napędy dwustronne z możliwością unieruchomienia w dowolnym położeniu z zasilaniem obu komór napędowych

Rys. 2.3. Symbole zaworów, schematy konstrukcyjne i funkcjonalne oraz objaśnienie funkcji i zastosowania zaworów [11]

Liczba kwadratów odpowiada ilości możliwych położeń elementu sterującego w zaworze. Liczba przyłączy w kwadracie wskazuje, ile dróg zawiera zawór rozdzielający. Linie wskazują połączenie między przyłączami zaś strzałki określają kierunek przepływu powietrza. Wylot powietrza do atmosfery oznacza się za pomocą trójkąta (rys. 2.4), jeżeli wylot jest zabudowany na stałe w elemencie, nie ma możliwości przyłączenia do wylotu odpowietrznika, filtra, tłumika, wówczas trójkąt rysuje się bezpośrednio przy kwadracie, bez wykazywania przyłącza. Dla zaworów monostabilnych za położenie spoczynkowe przyjmuje się to, które zajmuje element sterujący zaworu w momencie, gdy na zawór nie działają żadne zewnętrzne sygnały sterujące. Położeniem wyjściowym zaworu nazywa się takie położenie elementów sterujących, które występuje w danym momencie pracy zaworu.

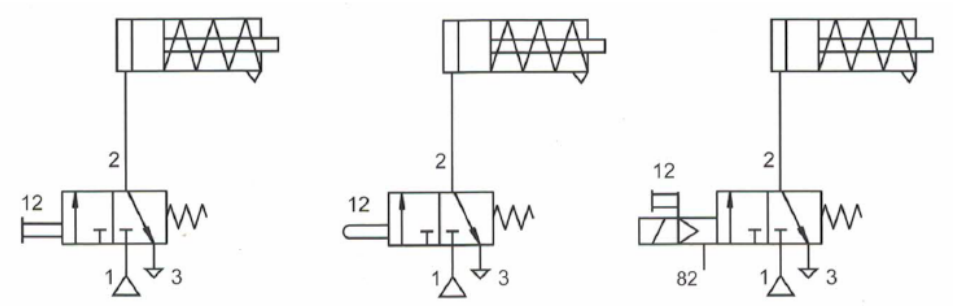
Dzięki różnym połączeniom między przyłączami występującymi w różnych stanach zawory umożliwiają realizację różnych funkcji. Przy ogólnym określeniu rodzaju zaworu podaje się dwie liczby. Pierwsza określa liczbę dróg, co odpowiada liczbie przyłączy, a druga podaje liczbę położeń zaworu. Należy przy tym pamiętać, że dla pełnego określenia rodzaju zaworu należy dodatkowo podać rodzaj sterowania, położenie przyłączy w położeniu spoczynkowym, rodzaj połączeń między przyłączami, wielkość przepływu i inne cechy charakterystyczne dla danego typu zaworów. Dane te są najczęściej określane w postaci kodu cyfrowo literowego stosowanego przez producenta zaworów.



Rys. 2.4. Symbol rozdzielacza trójdrogowego dwupołożeniowego [12]

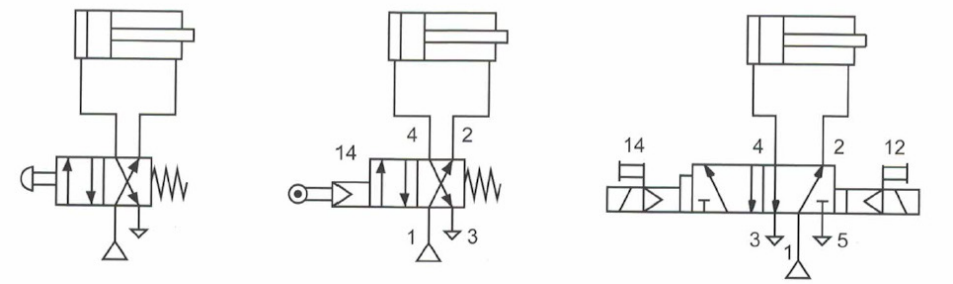
Na rysunku 2.5 przedstawiono przykładowe rozwiązania układu bezpośredniego sterowania siłownikiem jednostronnego działania z wykorzystaniem zaworu 3/2. Taki typ sterowania jest możliwy do

praktycznego wykorzystania dla małych siłowników z uwagi na wielkość przepływu. Dla większych przepływów stosuje się sterowanie pośrednie.



Rys. 2.5. Schematy układów bezpośredniego sterowania siłownikiem jednostronnego działania 3/2 [3]

Zawory rozdzielające 4/2, jak również zawory 5/2, stosuje się do sterowania siłownikami dwustronnego działania. Może to być realizowane bezpośrednio zaworami monostabilnymi lub bistabilnymi (rys. 2.6).



Rys. 2.6. Schematy układów sterowania bezpośredniego siłownikiem dwustronnego działania zaworami 4/2 i 5/2 [3]

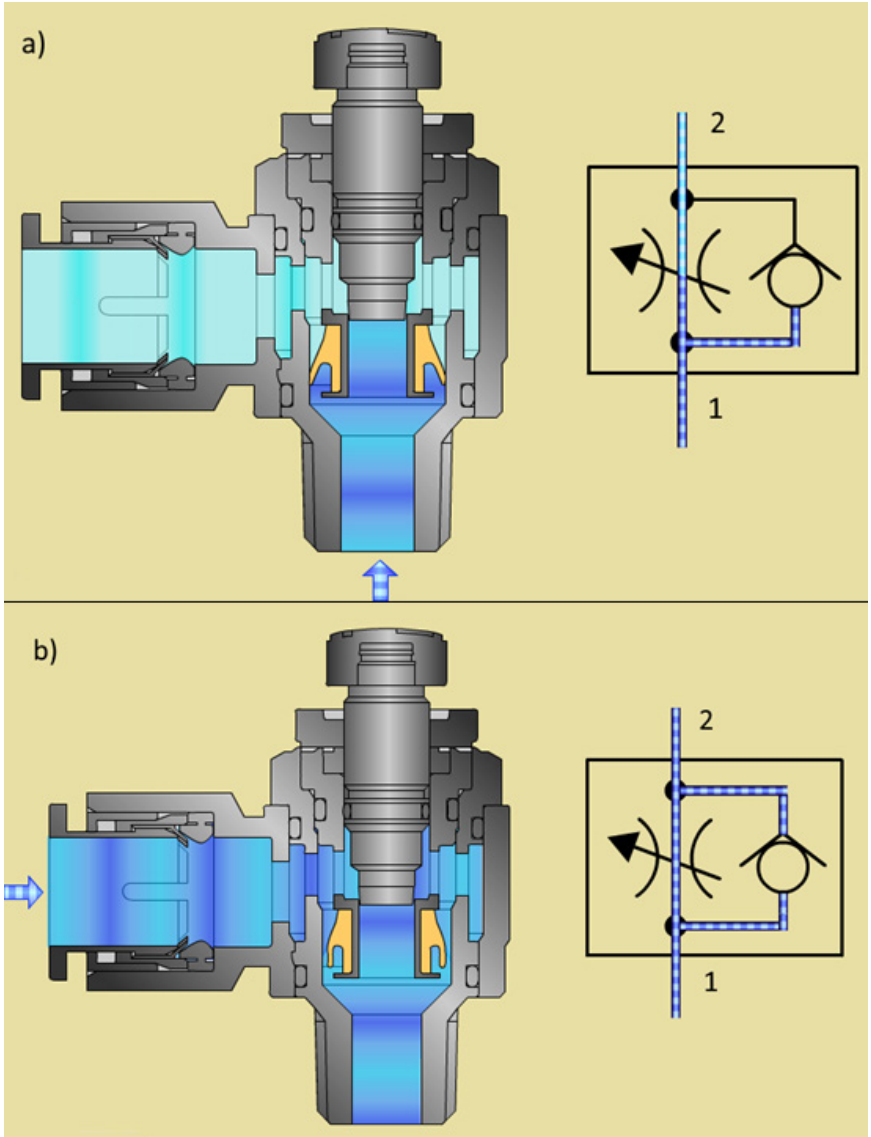
2.3. Zawory dławiąco-zwrotne

Zawory dławiąco-zwrotne są wykorzystywane do regulacji prędkości. Zawór ten jest równoległym połączeniem zaworu dławiącego i zwrotnego. W zaworze tym dławienie czynnika następuje tylko w jednym kierunku (rys. 2.7a). Przepływające powietrze zamyka zawór zwrotny i może przepływać tylko przez nastawiany zawór dławiący. Przy ruchu

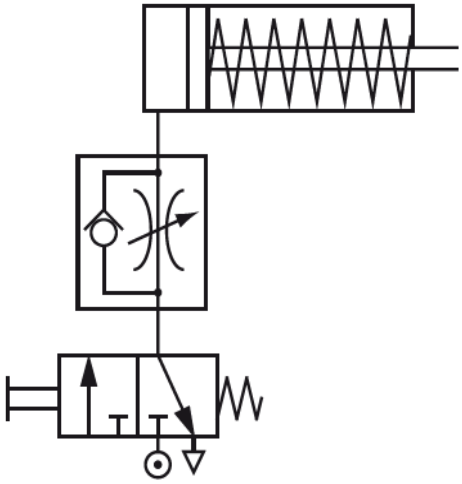
powietrza w przeciwnym kierunku (rys. 2.7b) przepływa ono swobodnie przez otwarty zawór zwrotny. Na rysunku 2.7 przedstawiono schemat działania zaworu montowanego bezpośrednio na siłowniku, w którym docisk membrany powoduje zamknięcie przelotu i przepływ jest dławiony z przyłącza 1 do 2. Zawory dławiąco-zwrotne mogą być stosowane do dławienia powietrza zarówno na wejściu, jak i wyjściu z siłownika.

W przypadku dławienia na wejściu do siłownika zawór dławiąco-zwrotny jest zamontowany na przewodzie zasilającym w taki sposób, że zawór zwrotny na dopływie powietrza jest zamknięty, a przekrój zaworu dławiącego, przez który kierowane jest do siłownika sprężone powietrze, może być zmieniany przez zmianę położenia iglicy stożkowej. Przy ruchu powrotnym tłoka powietrze wypływa z siłownika, otwiera zawór zwrotny i przepływa przez sterujący siłownikiem zawór 3/2 do atmosfery (rys. 2.8). Wadą tej metody jest niemożność kompensacji zmian obciążenia siłownika przez tzw. obciążenie pneumatyczne tłoka. Dlatego bardzo trudno jest w tym przypadku utrzymać stałą prędkość tłoka siłownika, w przeciwieństwie do dławienia przepływu powietrza na wyjściu z siłownika. Ta metoda jest więc stosowana tylko dla siłowników pneumatycznych jednostronnego działania i siłowników dwustronnego działania o małych pojemnościach.

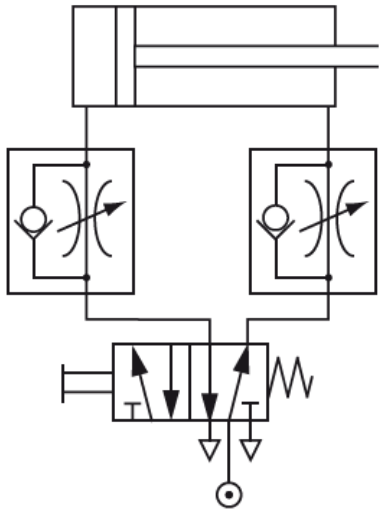
W przypadku dławienia na wyjściu siłownika zawór dławiący jest zamontowany w taki sposób, że powietrze wpływa do siłownika swobodnie, otwierając zawór zwrotny, a przepływ powietrza wypływającego z siłownika jest dławiony przez zawór iglicowy. Dławienie tego przepływu powoduje wzrost ciśnienia w opróżnianej komorze siłownika i powstanie obciążenia pneumatycznego działającego przeciwko poruszającemu się tłokowi, stabilizując jego prędkość (rys. 2.9). Im większe jest to obciążenie, tym lepiej stabilizowana jest prędkość siłownika. To powoduje, że ten sposób dławienia jest powszechnie stosowany do regulacji prędkości w siłownikach dwustronnego działania. W niektórych zastosowaniach, np. w przypadku ruchu pionowego siłownika przy obciążeniu unoszoną masą, jak pokazano na rysunku 2.10, zalecane jest stosowanie kombinacji dławienia na wlocie (zawór 1.02) i na wylocie (zawór 1.01). W ten sposób zapewnia się precyzyjną regulację prędkości ruchu siłownika zarówno przy podnoszeniu, jak i opuszczaniu.



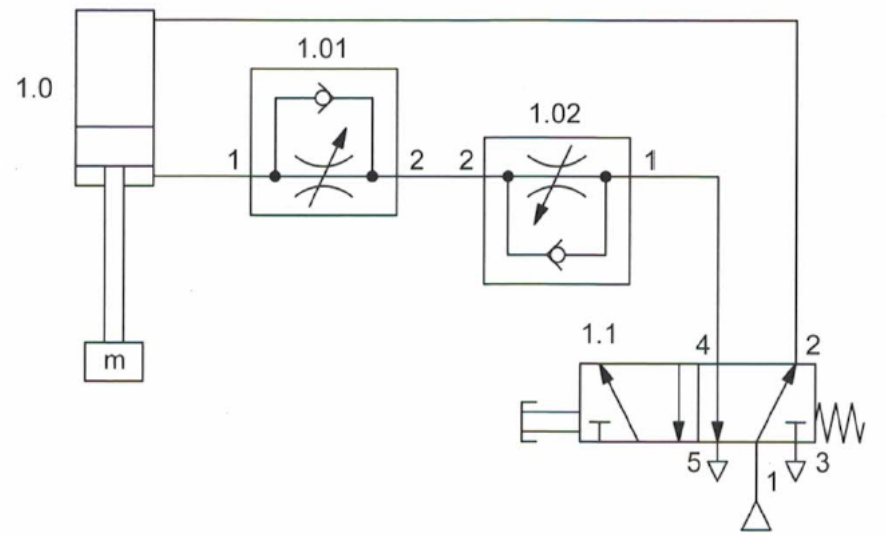
Rys. 2.7. Schematy działania zaworu dławiąco-zwrotnego [13]



Rys. 2.8. Schemat podłączenia zaworu dławiąco-zwrotnego na wejściu do siłownika jednostronnego działania [11]



Rys. 2.9. Schemat podłączenia zaworu dławiąco-zwrotnego na wyjściu z siłownika dwustronnego działania [11]



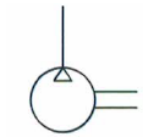
Rys. 2.10. Kombinacja dławienia na wlocie powietrza zasilającego i wylocie powietrza wypływającego przy opuszczaniu masy przez siłownik [3]

2.4. Symbole graficzne elementów pneumatyki

Poniżej przedstawiono stosowane symbole graficzne opisujące elementy pneumatyki [3].

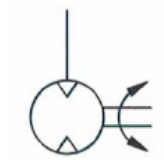
2.4.1. Elementy napędowe i przetwarzania energii

1. Sprężarka

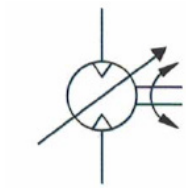


2. Pompa próżniowa

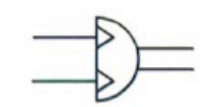
3. Silnik o stałej prędkości o jednym i dwóch kierunkach przepływu



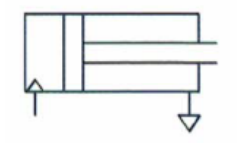
4. Silnik o zmiennej prędkości o jednym i dwóch kierunkach przepływu



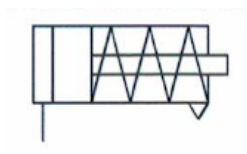
5. Silnik o ruchu wahadłowym



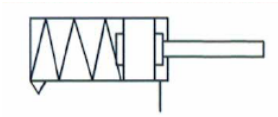
6. Siłownik jednostronnego działania z ruchem powrotnym tłoka pod działaniem siły zewnętrznej



7. Siłownik jednostronnego działania z ruchem powrotnym tłoka pod działaniem sprężyny

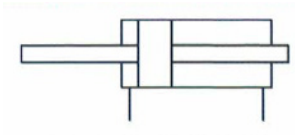


8. Siłownik jednostronnego działania ciągnący ze sprężyną

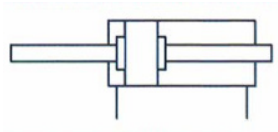


9. Siłownik dwustronnego działania z tłoczyskiem jednostronnym

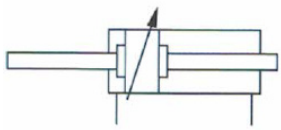
10. Siłownik dwustronnego działania z obustronnym tłoczyskiem



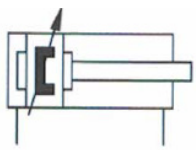
11. Siłownik dwustronnego działania z obustronnym tłoczyskiem i z obustronną stałą amortyzacją



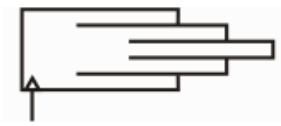
12. Siłownik dwustronnego działania z obustronnym tłoczyskiem i z obustronną nastawną amortyzacją



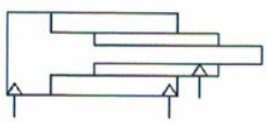
13. Siłownik dwustronnego działania z obustronną nastawną amortyzacją i bezstykową sygnalizacją położenia tłoka



14. Siłownik teleskopowy jednostronnego działania z powrotem pod działaniem siły zewnętrznej

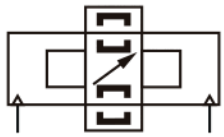


15. Siłownik teleskopowy dwustronnego działania

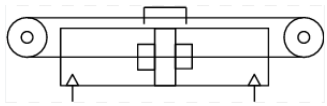


16. Beztłoczyskowy siłownik ze sprzężeniem mechanicznym, z obustronną nastawialną amortyzacją, z bezstykową sygnalizacją położenia tłoka

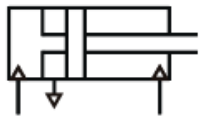
17. Beztłoczyskowy siłownik ze sprzężeniem magnetycznym, z obustronną nastawialną amortyzacją



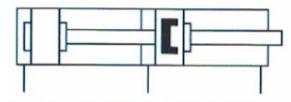
18. Siłownik cięgnowy z obustronną amortyzacją



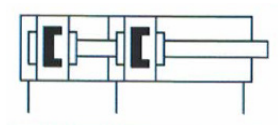
19. Udarowy siłownik pneumatyczny



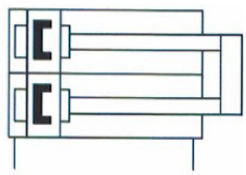
20. Siłownik pneumatyczny, tzw. „tandem”, z bezstykową sygnalizacją położenia tłoka



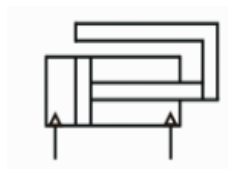
21. Siłownik pneumatyczny trójpołożeniowy z bezstykową sygnalizacją położenia tłoka



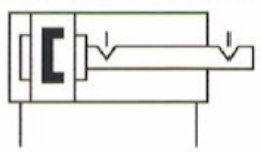
22. Siłownik pneumatyczny podwójny dwustronnego działania z bezstykową sygnalizacją położenia tłoka



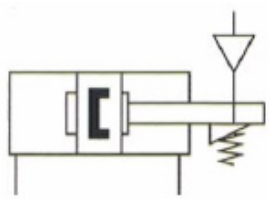
23. Siłownik pneumatyczny dwustronnego działania ze zintegrowanym prowadzeniem



24. Siłownik pneumatyczny dwustronnego działania z blokadą tłoczyska w skrajnych położeniach



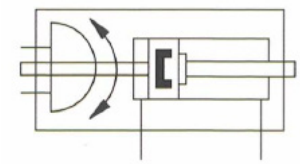
25. Siłownik pneumatyczny dwustronnego działania z jednostką zaciskową tłoczyska



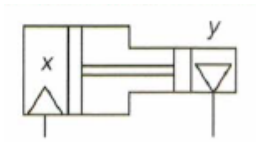
26. Siłownik mieszkowy

27. Muskuł pneumatyczny

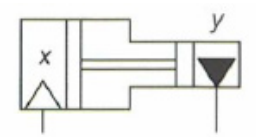
28. Jednostka obrotowo-liniowa



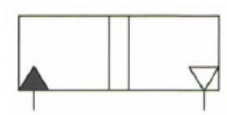
29. Wzmacniacz ciśnienia dla jednakowego medium – powietrza



30. Wzmacniacz ciśnienia powietrze-płyn

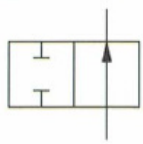


31. Przekaźnik ciśnienia, np. ciecz-powietrze

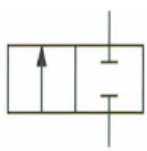


2.4.2. Zawory sterujące kierunkiem przepływu

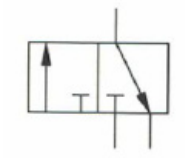
1. Zawór rozdzielający 2/2 normalnie otwarty



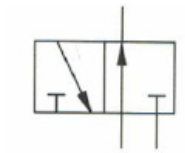
2. Zawór rozdzielający 2/2 normalnie zamknięty



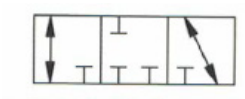
3. Zawór rozdzielający 3/2 normalnie zamknięty



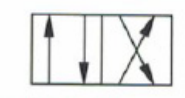
4. Zawór rozdzielający 3/2 normalnie otwarty



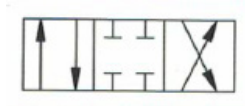
5. Zawór rozdzielający 3/3, w położeniu środkowym wyjście odcięte



6. Zawór rozdzielający 4/2

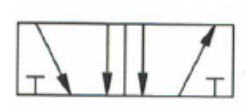


7. Zawór rozdzielający 4/3, w położeniu środkowym wyjścia odcięte

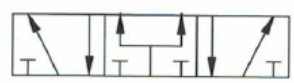


8. Zawór rozdzielający 4/3, w położeniu środkowym wyjścia odpowietrzone

9. Zawór rozdzielający 5/2

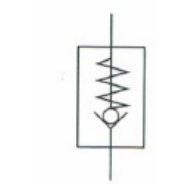


10. Zawór rozdzielający 5/3, w położeniu środkowym wyjścia napowietrzone

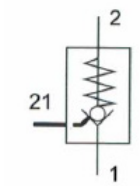


11. Zawór zwrotny bez sprężyny

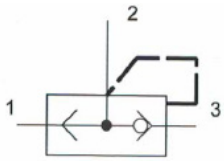
12. Zawór zwrotny ze sprężyną



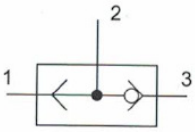
13. Zawór zwrotny sterowany



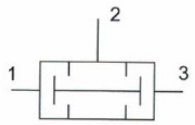
14. Zawór szybkiego spustu



15. Zawór logiczny LUB – przełącznik obiegu



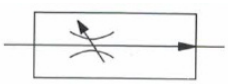
16. Zawór logiczny I – podwójnego sygnału



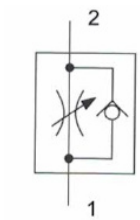
2.4.3. Zawory sterujące wielkością przepływu

1. Zawór dławiący nieregulowany

2. Zawór dławiący nastawialny

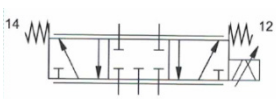


3. Zawór dławiąco-zwrotny



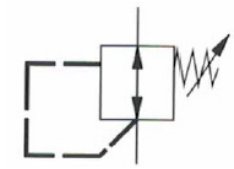
4. Zawór dławiący – zwężka

5. Proporcjonalny zawór rozdzielający

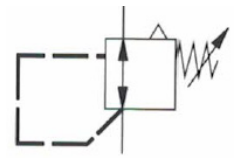


2.4.4. Zawory sterujące ciśnieniem powietrza

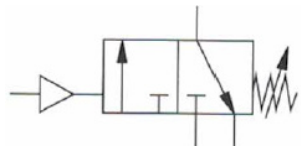
1. Zawór redukcyjny ciśnienia bez odpowietrzenia



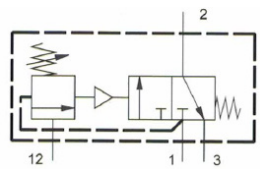
2. Zawór redukcyjny ciśnienia z odpowietrzeniem



3. Zawór bezpieczeństwa



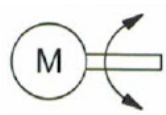
4. Zawór progowy



2.4.5. Źródła i nośniki energii lub sygnału

1. Źródło ciśnienia

2. Silnik elektryczny



3. Napęd nieelektryczny

4. Przewód roboczy

5. Przewód sterujący

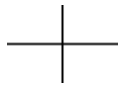
6. Przewód odpowietrzający

7. Przewód elastyczny

8. Przewód elektryczny

9. Połączenie przewodów stałe

10. Skrzyżowanie przewodów

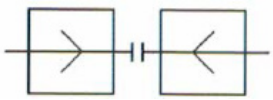


11. Odpowietrzenie bezpośrednio do atmosfery

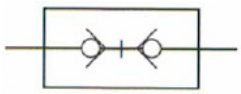
12. Odpowietrzenie przez przyłącze

13. Przewód zaślepiony

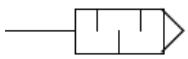
14. Szybkozłączka



15. Szybkozłączka z zaworami zwrotnymi

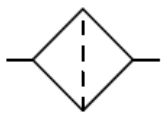


16. Tłumik hałasu

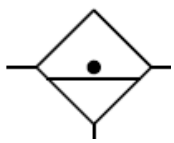


2.4.6. Elementy przygotowania powietrza

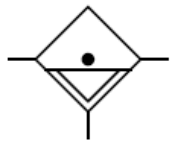
1. Filtr



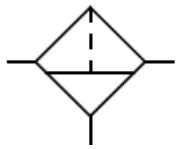
2. Odwadniacz z ręcznym spustem kondensatu



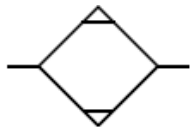
3. Odwadniacz z automatycznym spustem kondensatu



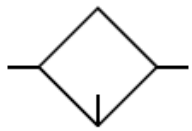
4. Filtr z ręcznym spustem kondensatu



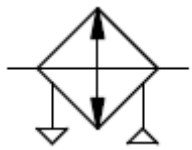
5. Osuszacz powietrza



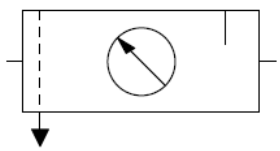
6. Smarownica powietrza



7. Chłodnica powietrza



8. Zespół przygotowania powietrza ze smarownicą

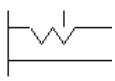


2.4.7. Sposoby sterowania zaworami

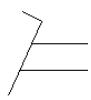
RĘCZNE

1. Symbol ogólny

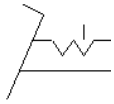
2. Symbol ogólny z blokadą



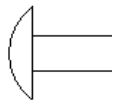
3. Pedał



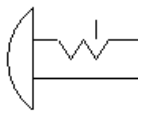
4. Pedał z blokadą



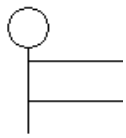
5. Przycisk wciskany



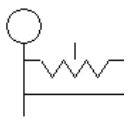
6. Przycisk wciskany z blokadą



7. Dźwignia

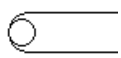


8. Dźwignia z blokadą

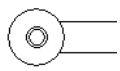


MECHANICZNE

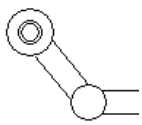
1. Popychacz



2. Rolka



3. Rolka z dźwignią uchylną



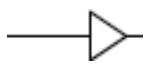
4. Sprężyna

ELEKTRYCZNE

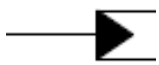
1. Elektromagnes

PNEUMATYCZNE

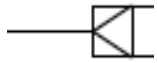
1. Bezpośrednio



2. Pośrednio przez wzrost ciśnienia



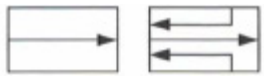
3. Pośrednio przez spadek ciśnienia



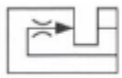
4. Z pilotem sterowanym elektrycznie

2.4.8. Pneumatyczne elementy strumieniowe i podciśnieniowe

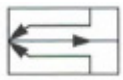
1. Czujnik z przerywanym strumieniem



2. Czujnik widełkowy



3. Dysza pierścieniowa w czujniku odległości

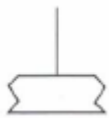


4. Dysza spiętrzeniowa

5. Pneumatyczny wyłącznik zbliżeniowy

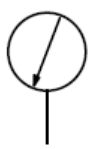
6. Generator podciśnienia

7. Przyssawka aktywna



2.4.9. Przyrządy pomiarowe, czujniki i przetworniki

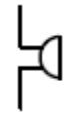
1. Manometr



2. Manometr różnicowy

3. Wskaźnik optyczny

4. Sygnalizator dźwiękowy



5. Termometr

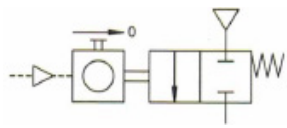
6. Wskaźnik przepływu

7. Przepływomierz

8. Wskaźnik poziomu cieczy

9. Przetwornik pneumoelektryczny

10. Licznik pneumatyczny



Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności konfiguracji pneumatycznych układów wykonawczych.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

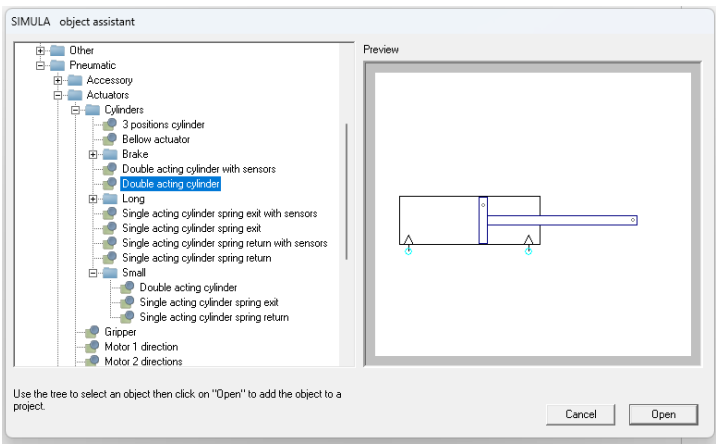
- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania AutoSIM. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do realizacji ćwiczenia.

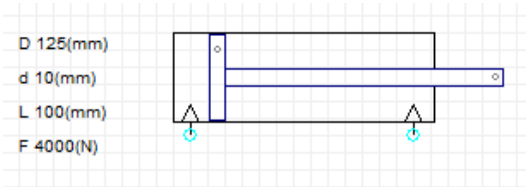
Projektowanie układów wykonawczych w AutoSim

1. Otwórz oprogramowanie AutoSIM.
2. Kliknij prawym przyciskiem myszy na Simula i wybierz *Add SIMULA page*.
3. Otworzy się okno robocze, w którym możesz tworzyć elementy pneumatyczne, obwody hydrauliczne, elektryczne i inne.
4. Umieść kursor w oknie roboczym i kliknij prawy przycisk myszy, a następnie *Add an object* lub na przycisk *Simulation library* znajdujący się na pasku narzędzi.

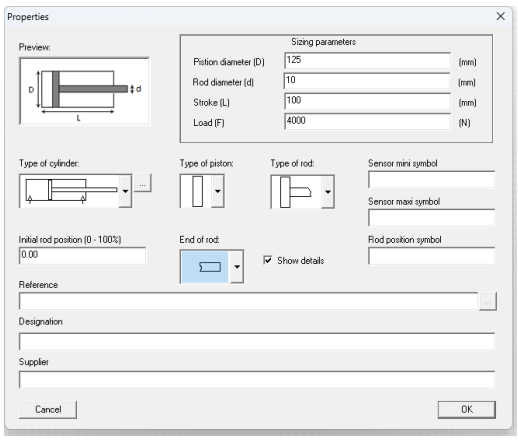
5. Otworzy się biblioteka, w której użytkownik może wybrać technologię, z jakiej chce skorzystać. W tym przewodniku będzie to pneumatyka.



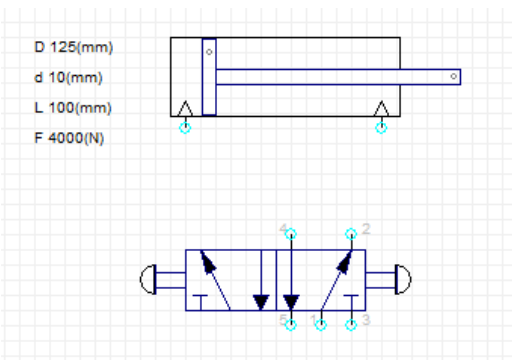
6. Wybierz obiekt Double acting cylinder w katalogu *Preset objects\Pneumatic\Actuators\Cylinders\Double acting cylinder.*
7. Naciśnij przycisk Open.
8. Wklej obiekt na utworzoną wcześniej stronę Simula.0



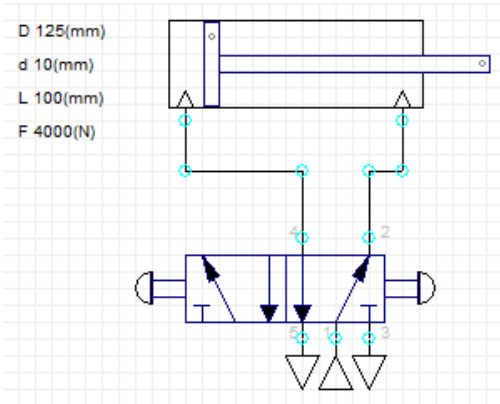
9. Elementy wykonawcze możesz konfigurować, korzystając z funkcji *Properties* (prawy przycisk myszy lub dwukrotne kliknięcie w obiekt).



10. Wybierz zawór 5/2 sterowany ręcznie, jak pokazano na rysunku, i umieść go na obszarze roboczym.



11. Dodaj źródło zasilania oraz elementy wyjściowe, korzystając z narzędzi *Preset objects\Pneumatic\Flow lines.*
12. Podłącz zawór do siłownika. Aby to zrobić, kliknij raz lewym przyciskiem myszy nad połączeniem początkowym i kliknij jeszcze raz lewym przyciskiem myszy nad miejscem docelowym połączenia.



13 Przeprowadź symulację pracy układu. W tym celu uruchom symulator poprzez użycie przycisku GO umieszczonego na pasku narzędzi. Zaworem możesz sterować poprzez odpowiednie kliknięcie na elementy symbolizujące sposób sterowania zaworem.

Treść zadania

Do wyboru przez prowadzącego:

Zadanie 1

1. Dostosuj parametry siłownika umieszczonego na schemacie do wyników konfiguracji z zadania 1.3.3.
2. Uzupełnij schemat o zawory pozwalające na sterowanie prędkością, wykorzystując metodę kontroli odpowiednią do przypadku obciążenia z zadania 1.3.3.
3. Ustaw wielkość dławienia zaworów zgodnie z przyjętymi parametrami z zadania 1.3.3.

Zadanie 2

1. Dostosuj parametry siłownika umieszczonego na schemacie do danych z zadania.
2. Ustaw ciśnienie robocze zgodnie z podanymi parametrami.

3. Ustal wartość siły obciążającej siłownik na 50% wartości teoretycznej siły podtłokowej przy zadanym ciśnieniu.
4. Uzupełnij schemat o zawory pozwalające na sterowanie prędkością przy założeniu podnoszenia i opuszczania przez siłownik masy (rys. 2.10).
5. Ustaw wielkość dławienia zaworów na 30% zakresu.
   Wykaz parametrów do zadania umieszczono w tabelach 2.2 i 2.3.

Tabela 2.2. Ciśnienie w układzie zasilania

Przypadek	1	2	3	4	5	6
Ciśnienie [bar]	3	4	5	6	7	8

Tabela 2.3. Rodzaj siłownika

Przypadek	A	B	C	D
Typ siłownika	ADN-32-300-P-A	DGC-K-40-500-PPV-A	DSBC-63-200-A-N3	AEVC-32-25-A-P
Przypadek	E	F	G	H
Typ siłownika	DSNU-25-250-P-A	DGC-K-63-800-PPV-A	DSBC-40-500-A-N3	AEVC-63-25-A-P
Przypadek	I	J	K	L
Typ siłownika	ADN-50-400-P-A	DGC-32-300-PPV-A	DPDM-32-50-PA	DPDM-32-15-P-PA

Sprawozdanie powinno zawierać:

- kolejno przedstawione etapy konfiguracji układu,
- wyniki symulacji z omówieniem i wnioskami.

ROZDZIAŁ 3

Podstawy projektowania układów sterowania pneumatycznego

Układy sterowania występują obecnie w większości produkowanych maszyn i urządzeń. Wynika to z ciągłego rozwoju automatyzacji, której jedną z przesłanek jest ograniczenie roli człowieka do nadzoru systemu. W mniej skomplikowanych układach pneumatycznych istnieje możliwość stosowania sterowania pneumatycznego. Projekt układu pneumatycznego musi więc zawierać odpowiednio dobrane i połączone komponenty pneumatyczne, tak aby spełniał on żądane wymagania. Realizacja projektu obejmuje trzy zasadnicze etapy [14]:

- Obliczenie i dobór elementów napędowych na podstawie charakteru i wielkości obciążeń gwarantujących założoną kinematykę i dynamikę pracy urządzenia technologicznego.
- Opracowanie algorytmu sterowania, formalnego zapisu działania układu i zaprojektowanie układu sterującego elementami napędowymi.
- Dobór członów wejściowych umożliwiających realizację sterowania urządzeniem (czujniki i elementy sterowania ręcznego, przetworniki), elementów osprzętu pneumatycznego (złączki, przewody) oraz zespołów przygotowania sprężonego powietrza dla układu napędowego i sterowania.

Proces projektowania układu sterowania można przeprowadzić w jeden z następujących sposobów [15]:

- Intuicyjnie, na podstawie dobrej znajomości działania elementów, dobierając ich rodzaje i liczbę oraz określając sposób ich połączenia w układ. Tym sposobem można się posłużyć tylko przy stosunkowo prostych układach.
- Algorytmicznie, wykonując procedurę nakazaną przez wybrany algorytm projektowania, który określa, jakie elementy należy dobrać i jak je ze sobą połączyć w układ, aby osiągnąć zamierzony

cel. Jest to sposób najbardziej przydatny w praktyce inżynierskiej. Wymaga on od projektanta tylko znajomości elementarnej algebry logiki.

- Analitycznie, określając w sposób analityczny funkcje logiczne, jakie muszą być spełnione przez układ, aby zrealizować żądane wymaganie, i dobierając elementy logiczne, które pozwolą zrealizować te funkcje. Sposób ten znajduje zastosowanie przy układach bardziej skomplikowanych. Wymaga on od projektanta dobrej znajomości algebry logiki.
- Dobierając odpowiedni przekaźnikowy układ sterowania i zgodnie z instrukcją łącząc go z członami wejściowymi i elementami napędowymi, przy wykorzystaniu elementów logicznych. Jest to sposób relatywnie prosty, ale wiąże się z potrzebą użycia rzadko obecnie stosowanych układów sterowania opartych na przekaźnikach.
- Wybierając sterownik programowalny i opracowując program, a sterownik łącząc z członami wejściowymi i elementami sterującymi napędami. Sposób ten zakłada, że sterowanie realizuje elektroniczny sterownik programowalny. W tym przypadku nie będzie to układ w pełni pneumatyczny, gdyż część sterująca i kontrolna jest elektroniczna, zastosowane zawory muszą być elektropneumatyczne.

Układy ze względu na działanie możemy podzielić na [3]:

- Układy kombinacyjne, w których działanie elementów napędowych zależy wyłącznie od aktualnego stanu sygnałów wejściowych i nie zależy od czasu, w którym ten stan wystąpi.
- Układ sekwencyjny, w którym istnieje ścisła kolejność działania elementów napędowych i rozpoczęcie kolejnego ruchu jest uwarunkowane przede wszystkim zakończeniem ruchu poprzedniego, czyli zależy od stanu wewnętrznego układu.

3.1. Rysowanie układów pneumatycznych

Przy sporządzaniu schematu należy przestrzegać następujących zasad [11]:

- Schematy układów pneumatycznych należy sporządzać bez uwzględniania przestrzennego uporządkowania elementów maszyny.

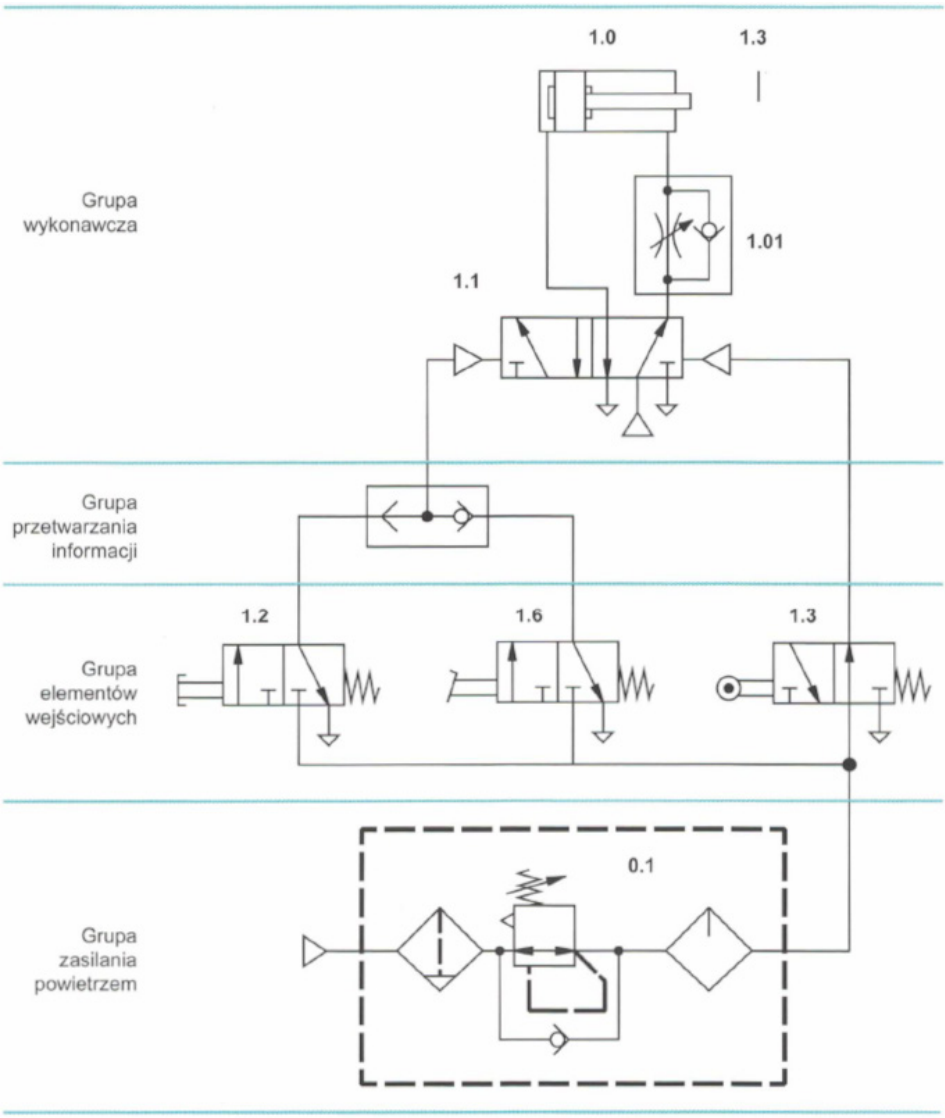
- Siłowniki i zawory do ich sterowania należy rysować, o ile jest to możliwe, w położeniu poziomym.
- Zasilanie sprężonym powietrzem odpowiadające przewodom pneumatycznym, należy prowadzić w miarę możliwości bezpośrednio i bez krzyżowania.
- Elementy na rysunku należy umieszczać od dołu do góry i w kierunku przepływu sygnałów sterujących i powietrza zasilającego.
- Elementy należy uporządkować od strony lewej do prawej zgodnie z przebiegiem ich funkcji w czasie.
- Wszystkie elementy są rysowane na schemacie w położeniu spoczynkowym (maszyna gotowa do włączenia). Wymaga się przy tym, aby układy pneumatyczne były sporządzane z zasilaniem w sprężone powietrze, a układy elektryczne bez zasilania.

W oparciu o powyższe zasady, źródło sprężonego powietrza zawsze znajduje się w lewym dolnym rogu rysunku. Siłownik pneumatyczny, który będzie uaktywniony jako pierwszy, znajduje się zawsze w lewym górnym rogu rysunku.

W związku z powyższym elementy łączy się w grupy funkcjonalne, które rysuje się na odpowiednich poziomach. Wyróżnić możemy następujące grupy elementów, zaczynając od dolnej części rysunku [3]:

- Grupa zasilania – zawiera elementy do zasilania energią i przygotowania sprężonego powietrza.
- Grupa wejściowa – zawiera elementy generujące sygnały wejściowe (przyciski przełączniki, wyłączniki krańcowe itp.).
- Grupa przetwarzania informacji – zawiera elementy logiczne i elementy pamięci.
- Grupa wykonawcza – zawiera silniki i siłowniki wraz z zaworami rozdzielającymi sterującymi ich pracą oraz elementami zmieniającymi ich charakterystyki.

Przykładowy schemat połączeń układu pneumatycznego z uwidocznionym podziałem na grupy przedstawiono na rysunku 3.1.

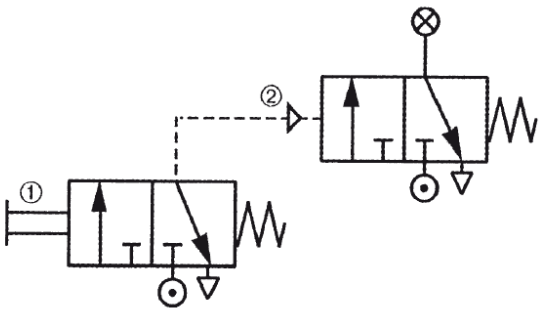


Rys. 3.1. Schemat układu wysuwania siłownika pneumatycznego [3]

3.2. Układy ręcznego sterowania siłownikami

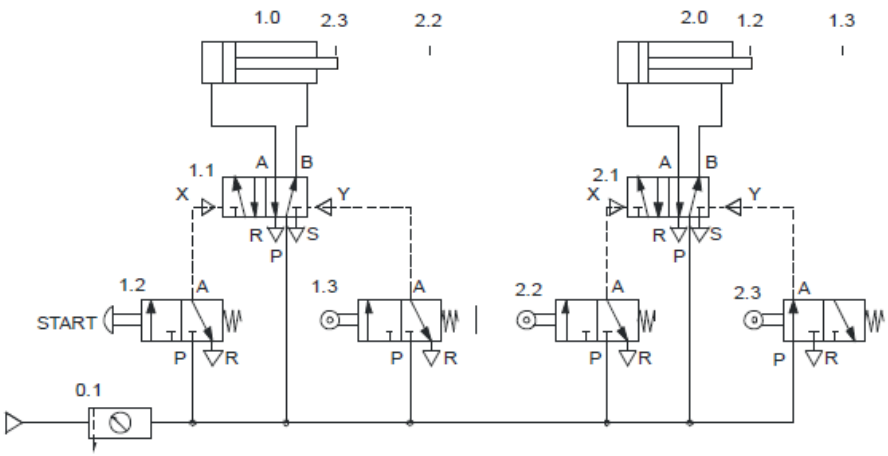
Oprócz metody bezpośredniego sterowania zaworem siłownika stosuje się również układy pośrednie. Wykorzystuje się je przede wszystkim do siłowników o dużych średnicach oraz tam, gdzie występuje

duża odległość pomiędzy siłownikiem a zaworem sterującym przepływem. W takim rozwiązaniu zawór (2), którego parametry odpowiadają maksymalnemu chwilowemu zużyciu powietrza przez siłownik pneumatyczny, jest sterowany pośrednio przez mały zawór (1) (rys. 3.2). Pośrednie sterowanie zaworu eliminuje konieczność zastosowania dużej siły, potrzebnej do przełączenia zaworu (2). Tego typu układy często są określane mianem „wzmacniacza przepływu". Duży zawór (2) jest umiejscowiony blisko napędu pneumatycznego, a mały zawór (1) umieszczany jest na pulpicie sterowania.



Rys. 3.2. Wzmacnianie przepływu powietrza – pośrednie sterowanie zaworem [11]

Przykładowy schemat układu sekwencyjnego załączanego przy wykorzystaniu zaworu o ręcznym sterowaniu przedstawiono na rysunku 3.3.



Rys. 3.3. Przykładowy schemat układu pneumatycznego sekwencyjnego [12]

3.3. Cyklogram pracy

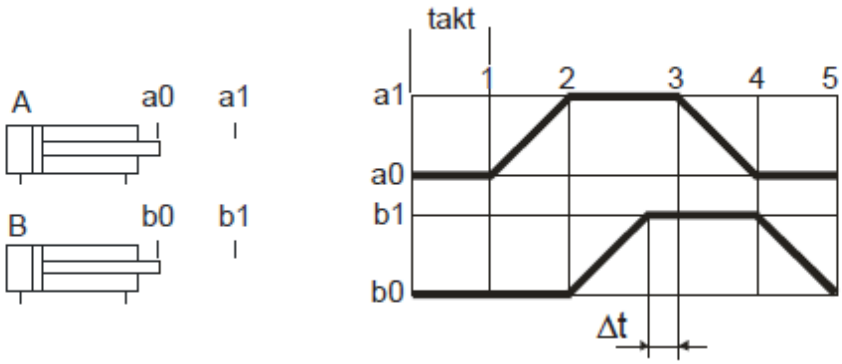
Cyklogramy pracy układów pneumatycznych stosuje się w celu przedstawienia kolejnych etapów ruchu elementów wykonawczych. Przedstawia się go w formie graficznej, na osi odciętych odkłada się jednakowe odległości symbolizujące kolejne takty w cyklu pracy. Na osi rzędnych zamieszcza się informacje o stanie elementów układu. Analizie poddaje się wyłącznie elementy, których zmiana stanu jest istotna dla działania całego układu. Należą do nich elementy robocze i zawory sterujące. Dla elementów roboczych na osi rzędnych nanosi się oznaczenia położenia, czyli przebytej drogi, dla zaworów natomiast stany przesterowania pozycji. Istotą cyklogramu pracy jest przedstawienie przyczynowo-skutkowe działania projektowanego układu w pełnym cyklu pracy, z podziałem na takty. Cyklogram stanowi podstawę do doboru elementów wykonawczych i sterujących. Pozwala również na określenie wymaganych parametrów technicznych dla tych elementów.

Na rysunku 3.4 przedstawiono przykładowy cyklogram pracy dwóch siłowników pneumatycznych A i B. W prezentowanym przykładzie cykl pracy składa się z czterech taktów. W „pierwszym" (0–1) takcie nic się nie wydarzyło z elementami roboczymi, więc w analizie jest on pomijany. Należy tu zauważyć, że odcinki współrzędnej czasu na cyklogramie nie odpowiadają rzeczywistym czasom działań mechanizmów. Wynika to z przyjętego założenia, że cyklogram ma znaczenie jedynie poglądowe. Pogrubione linie poziome na cyklogramie oznaczają stany stabilne, zaś pogrubione linie pochyłe lub pionowe zmianę stanu. W przedstawianym przykładzie odnoszą się one do pracy siłownika. W celu pełnej reprezentacji zależności między elementami sterującymi a roboczymi cyklogram pracy powinien być uzupełniony o kolejne wiersze, w których oznacza się położenia istotnych zaworów rozdzielających i sterujących pracą siłowników. W celu lepszego odzwierciedlenia logiki pracy układu dopuszcza się nanoszenie na cyklogramy pracy dodatkowych oznaczeń. Mogą to być np. przebiegi sygnałów sterowania, które pokazują, w jaki sposób sygnały wejściowe podane z przycisków, powodują ruch w kolejnym takcie. Cyklogram pracy może być uzupełniony o graficzne symbole pomocnicze, dodatkowo uszczegółowiające zasadę działania projektowanego układu. Oznaczenia symboli pomocniczych zestawiono w tabeli 3.1.

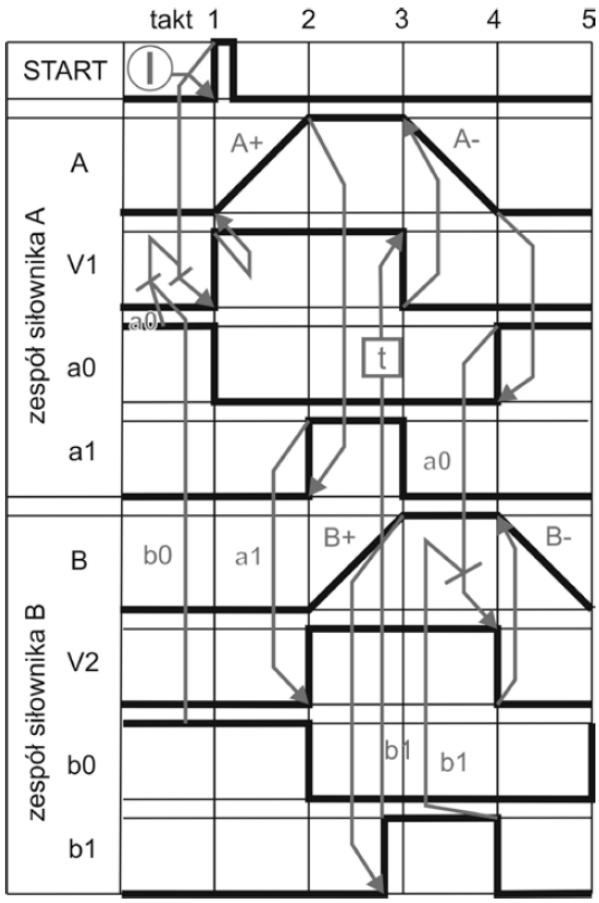
Na rysunku 3.5 pokazano cyklogram pracy zawierający informacje o położeniu zaworów rozdzielających, sterujących siłownikami A i B, oraz o położeniu łączników drogowych umieszczonych w pozycjach a0, a1, b0, i b1. Na cyklogramie pracy naniesiono dodatkowo symbole pomocnicze, informujące, który z sygnałów wejściowych powoduje przesterowanie zaworu rozdzielającego i w konsekwencji ruch siłowników.

Tabela 3.1. Przykłady symboli pomocniczych nanoszonych na cyklogram pracy [12]

Symbol	Znaczenie
E A	Sygnał informujący o włączeniu zasilania
	Sygnał z przycisku – START
A	Sygnał z przycisku – praca automatyczna
	Lampka kontrolna
t	Opóźnienie sygnału
P	Sygnał z przetwornika ciśnieniowego
S S	Sygnał pneumatyczny
S	Wykorzystanie sygnału w dwóch punktach
S1 S2	Suma logiczna sygnałów S1 i S2
S1 S2	Iloczyn logiczny sygnałów S1 i S2
S3	Sygnał z łącznika drogowego S3
S4 S4	Negacja sygnału S4 z łącznika drogowego



Rys. 3.4. Przykładowy cyklogram pracy dwóch siłowników [12]



Rys. 3.5. Przykładowy cyklogram pracy dwóch siłowników z naniesionymi stanami łączników drogowych [12]

Z przedstawionego cyklogramu wynika, że cykl pracy rozpoczyna siłownik A po podaniu sygnału START pod warunkiem, że istnieją także sygnały a0 i b0 (iloczyn logiczny sygnałów START, a0 i b0). Ruch tłoczyska siłownika B w takcie drugim jest wywołany sygnałem al. Po zakończeniu ruchu i pojawieniu się sygnału wejściowego b1 przewidziana jest zwłoka czasowa Δt. W takcie trzecim realizowany jest ruch powrotny tłoczyska siłownika A. Ruch powrotny tłoczyska siłownika B, w takcie czwartym, może się rozpocząć, o ile zaistnieją dwa sygnały a0 i b1 [12].

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności projektowania układów sterowania pneumatycznego.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania AutoSIM. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do wykonania ćwiczenia.

Treść zadania

Do wyboru przez prowadzącego:

Zadanie 1

Temat: Sterowanie bezpośrednie siłownikiem jednostronnego działania.

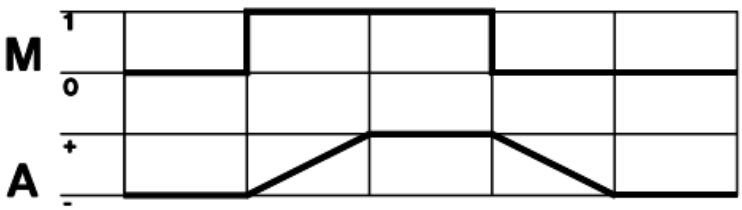
Cel szczegółowy:

Zrozumienie pracy siłownika jednostronnego działania i zaworu bezpośredniego działania przy użyciu zaworu 3/2 normalnie zamkniętego.

Opis:

Wciśnięty przycisk zaworu 3/2 (M) normalnie zamkniętego powoduje zadziałanie siłownika jednostronnego działania (A), tak więc kiedy przycisk jest wciśnięty, realizowane jest wysunięcie siłownika, a kiedy przycisk jest zwolniony, tłoczysko siłownika powraca do pozycji początkowej.

Wykres fazowy:



Wykonanie ćwiczenia:

- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.
- Uzupełnić wykres fazowy o symbole pomocnicze.

Zadanie 2

Temat: Sterowanie pośrednie siłownikiem jednostronnego działania.

Cel szczegółowy:

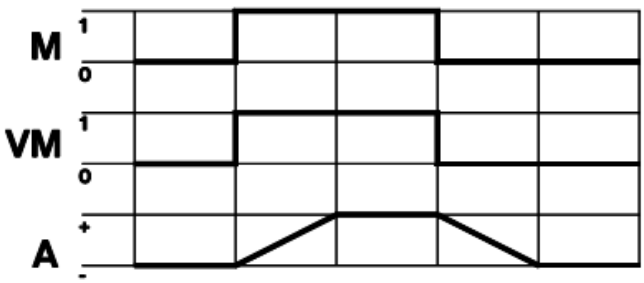
Zrozumienie zasady działania sterowania pośredniego siłownika jednostronnego działania przy użyciu zaworu rozdzielającego 3/2 sterowanego pneumatycznie i zaworu rozdzielającego 3/2 sterowanego przyciskiem wciskanym.

Opis:

1. Siłownik jednostronnego działania sterowany jest poprzez pojedynczy zawór rozdzielający monostabilny 3/2 sterowany pneumatycznie (VM).

2. Zadziałanie siłownika sterowane jest poprzez zawór rozdzielający 3/2 normalnie zamknięty (M), który przekazuje sygnał pneumatyczny na zawór sterujący siłownikiem.
3. Siłownik wysuwa się, kiedy następuje naciśnięcie przycisku, a powraca do pozycji początkowej, w momencie kiedy zostanie zwolniony (A).

Wykres fazowy:



Wykonanie ćwiczenia:

- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.
- Uzupełnić wykres fazowy o symbole pomocnicze.

Zadanie 3

Temat: Sterowanie siłownikiem dwustronnego działania.

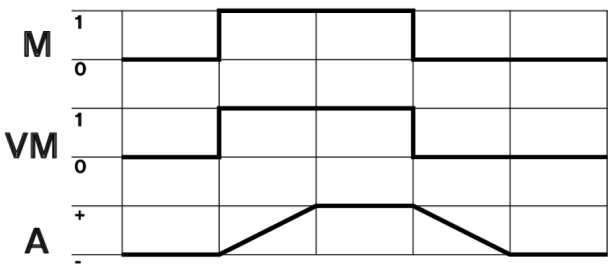
Cel szczegółowy:

- Poznanie różnicy w konstrukcji i funkcjonalności siłowników jednostronnego i dwustronnego działania.
- Zrozumienie zasady działania sterowania pośredniego siłownikiem przy użyciu zaworu rozdzielającego monostabilnego sterowanego pneumatycznie i zaworu rozdzielającego 3/2 sterowanego przyciskiem wciskanym.

Opis:

1. Siłownik dwustronnego działania jest sterowany poprzez zastosowanie zaworu rozdzielającego 5/2 monostabilnego sterowanego pneumatycznie (VM).
2. Wyzwolenie siłownika następuje poprzez zawór rozdzielający 3/2 sterowany przyciskiem (M), który powoduje przekazanie sygnału pneumatycznego na zawór rozdzielający 5/2 sterujący bezpośrednio siłownikiem.
3. Siłownik (A) wysuwa się, kiedy następuje naciśnięcie przycisku i powraca do pozycji wyjściowej, kiedy przycisk zostaje zwolniony.

Wykres fazowy:



Wykonanie ćwiczenia:

- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.
- Uzupełnić wykres fazowy o symbole pomocnicze.

Zadanie 4

Temat: Sterowanie siłownikiem dwustronnego działania zaworem bistabilnym.

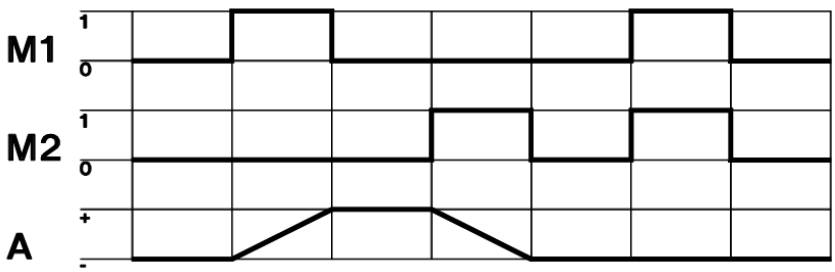
Cel szczegółowy:

- Zrozumienie funkcjonowania i poznanie różnic w konstrukcji zaworu monostabilnego i bistabilnego sterowanego pneumatyczne.
- Zrozumienie zasady działania zaworu bistabilnego jako zaworu z pamięcią.

Opis:

1. Siłownik dwustronnego działania jest sterowany przez zawór rozdzielający 5/2 sterowany pneumatycznie.
2. Wciśnięcie przycisków na zaworach 3/2 monostabilnych zapewnia przesterowanie zaworu bistabilnego, co powoduje przesunięcie siłownika w obu kierunkach w zależności od użytego przycisku.
3. Siłownik wysuwa się, kiedy zostanie wciśnięty przycisk M1 i powróci do początkowej pozycji, kiedy nastąpi wciśnięcie przycisku M2.
4. Jeżeli nie zostanie wciśnięty żaden przycisk, to siłownik pozostaje w ostatniej pozycji.

Wykres fazowy:



Wykonanie ćwiczenia:

- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.
- Uzupełnić wykres fazowy o symbole pomocnicze.

ROZDZIAŁ 4

Podstawowe układy sterowania

Projektowanie układu pneumatycznego można przeprowadzić na różne sposoby zdefiniowane w rozdziale 3. Projektując układy, można zauważyć, że składają się one z powtarzających się elementów pozwalających na realizację określonych sekwencji ruchu siłowników. Właściwość ta sprawia, że można te charakterystyczne układy elementów wykorzystywać jako gotowe rozwiązania stanowiące część bardziej skomplikowanych układów.

Przez połączenie kilku zaworów powstają bloki realizujące podstawowe funkcje układu sterującego. Przy zastosowaniu kilku bloków zaworowych możliwe jest wykonanie w pełni funkcjonalnego schematu układu pneumatycznego do sterowania maszynami.

Układy podstawowe służą do realizacji:

- sterowania ruchami siłowników pneumatycznych,
- sterowania innymi zaworami do:
  - zdalnego sterowania maszyną ze stanowiska operatora,
  - zmiany funkcji zaworów,
  - blokowania mechanizmów dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy itd.

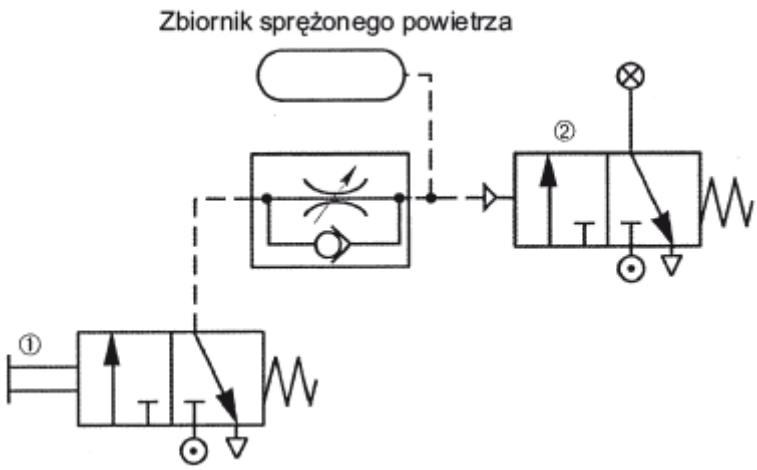
4.1. Układy formowania sygnału

Jedną z często używanych funkcji układów formujących jest funkcja realizowana przez zawory opóźniające. Zawór taki może być monolityczny, jak również może być zbudowany z odrębnych elementów składowych. W jego skład wchodzi:

- zawór rozdzielający 3/2 o wybranej konfiguracji (normalnie otwarty lub normalnie zamknięty),

- zawór zwrotno-dławiący,
- pojemność pneumatyczna.

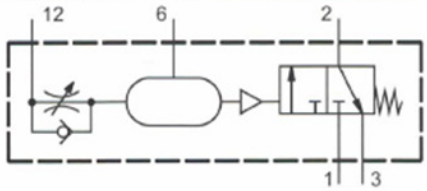
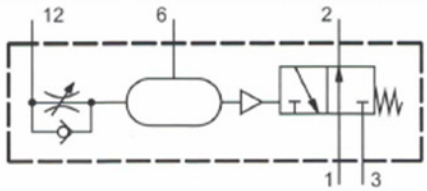
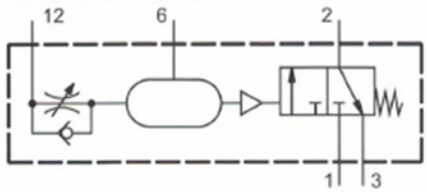
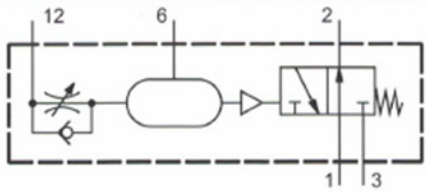
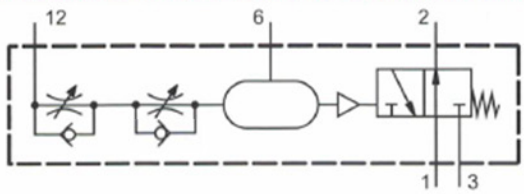
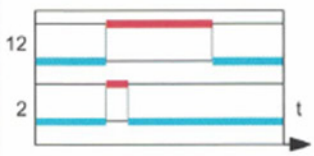
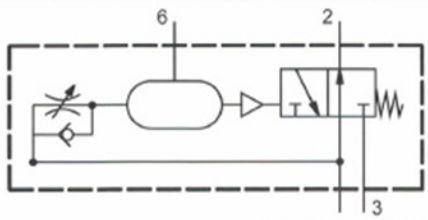
Na rysunku 4.1 przedstawiono schemat układu pneumatycznego przekaźnika czasowego z opóźnieniem sygnału wyjściowego 1 po uaktywnieniu przekaźnika czasowego. Po przełączeniu zaworu 3/2 (1) powietrze płynie przez zawór dławiący do zbiornika sprężonego powietrza przekaźnika czasowego. Zawór 3/2 (2) zostanie przełączony, gdy ciśnienie powietrza w zbiorniku sprężonego powietrza osiągnie wymaganą wartość pozwalającą na przeciwdziałanie sile sprężyny zaworu. Opóźnienie sygnału przełączającego zawór 3/2 (2) wynika z ustawienia zaworu dławiącego, umieszczonego między zaworem 3/2 (1) a zbiornikiem sprężonego powietrza. Zwolnienie przycisku zaworu 3/2 (1) powoduje przerwanie dopływu powietrza do zbiornika sprężonego powietrza, a zawór zwrotny umożliwia szybkie odpowietrzenie zbiornika. Odpowietrzenie zbiornika powoduje zanik sygnału sterującego zaworem 3/2 (2), sprężyna zwrotna przestawia go w położenia wyjściowe. Sygnał wyjściowy przekaźnika zmienia wartość z 1 na 0 [11].



Rys. 4.1. Schemat zaworu opóźniającego normalnie zamkniętego [11]

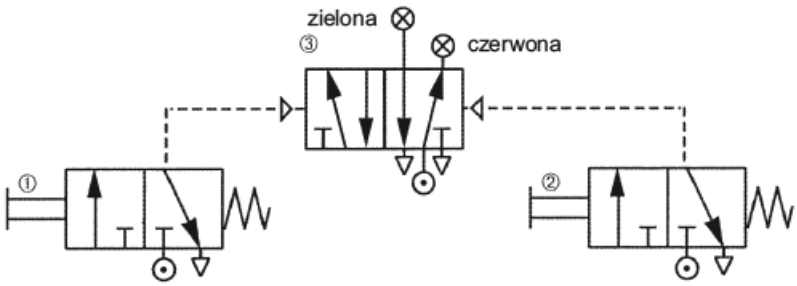
Różne połączenie elementów wchodzących w skład zaworu opóźniającego pozwala na uzyskanie różnych charakterystyk przełączania (tab. 4.1).

Tabela 4.1. Układy formujące sygnały pneumatyczne z przekaźnikiem czasowym [3]

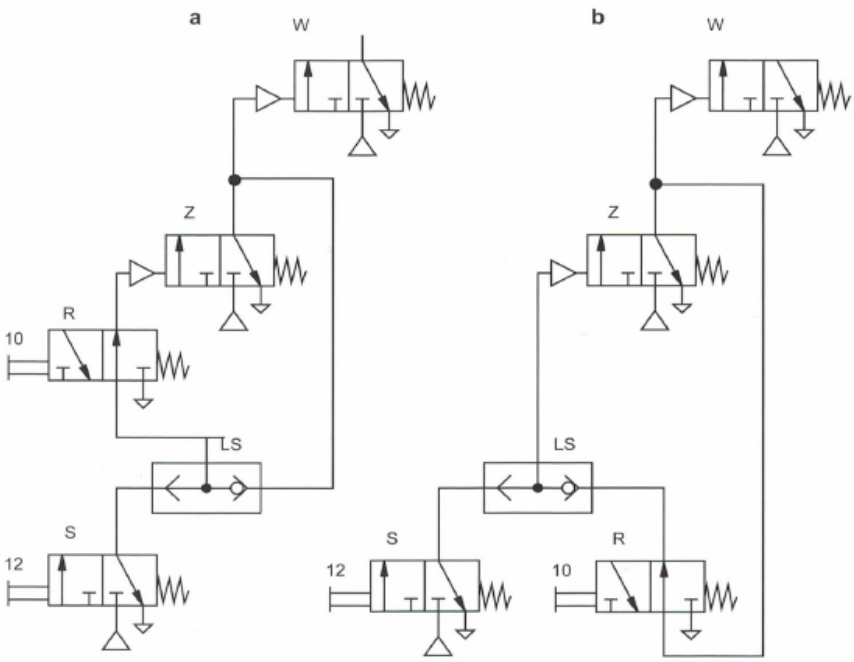
Lp.	Wykres czasowy	Schemat połączeń
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		

4.2. Układy pamięciowe

Elementy pamięci realizują podtrzymanie sygnału na wyjściu po zaniku sygnału sterującego. Należą do nich np. zawory bistabilne sterowane obustronnie. Na rysunku 4.2 przedstawiono działanie takiego układu zbudowanego w oparciu o zawór 5/2. Do przestawienia bistabilnego zaworu (3) wystarczy krótki impuls. Przesterowanie zaworu następuje poprzez uaktywnienie zaworów 3/2 (1) lub (2).



Rys. 4.2. Schemat układu z pamięcią realizującego zmianę czerwonej lampki sygnalizacyjnej na zieloną przez zawór (1) i zmianę zielonej lampki sygnalizacyjnej na czerwoną przez zawór (2) [11]



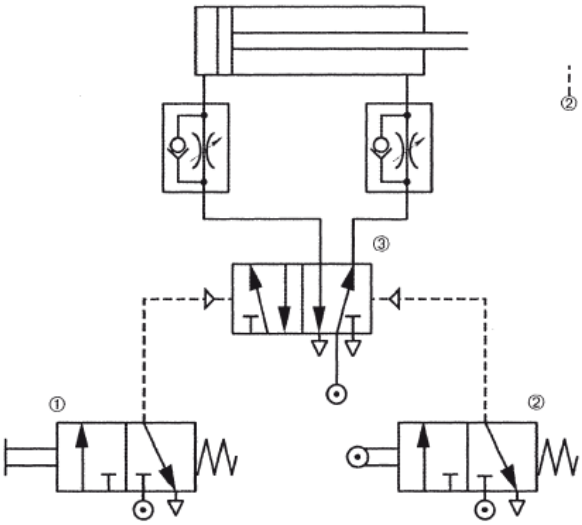
Rys. 4.3. Układy pamięci oparte na zaworach monostabilnych 3/2 [3]

Zapamiętywanie sygnałów może być również realizowane z wykorzystaniem zaworów logicznych. Na rysunku 4.3 przedstawiono rozwiązanie układu pamięci z wykorzystaniem zaworów monostabilnych 3/2. Na schemacie a) zawór Z sterowany jest z zaworu S. Po zwolnieniu przycisku zaworu S stan zaworu Z jest podtrzymywany poprzez działanie zaworu sumy logicznej LS. Przesterowanie zaworu R powoduje przerwanie podtrzymania sygnału, co w konsekwencji prowadzi do zaniku sygnału na zaworze Z. Jednoczesne wciśnięcie zaworów R i S nie powoduje przesterowania zaworu Z, co w konsekwencji nie pozwala na przesterowanie zaworu W. W przypadku podłączenia zaworu R, jak w przypadku b), jednoczesne wciśnięcie zaworów R i S spowoduje przełączenie zaworu W.

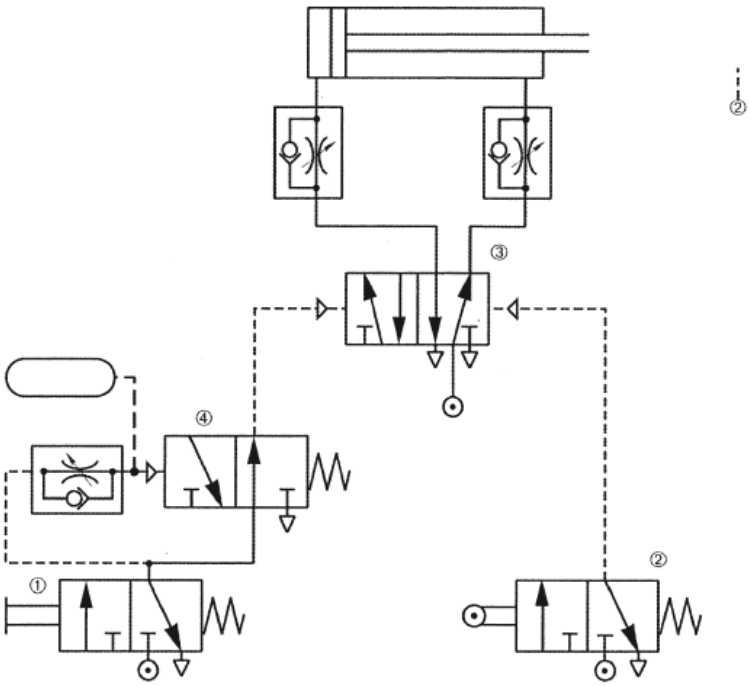
4.3. Układy pracujące w cyklu pojedynczym

W układach pracujących w cyklu pojedynczym po naciśnięciu przycisku START następuje wykonanie sekwencji ruchów. Powtórzenie sekwencji wymaga ponownego wciśnięcia przycisku. Na rysunku 4.4 przedstawiono przykład układu pneumatycznego działającego w cyklu. Wciśnięcie zaworu 3/2 (1) powoduje przesterowanie zaworu (3) i rozpoczęcie procesu wysuwania tłoczyska. Element przełączający zamocowany na tłoczysku siłownika dwustronnego działania, przełącza na końcu skoku mechanicznie sterowany przez rolkę zawór 3/2 (2). To powoduje przełączenie pneumatycznie sterowanego zaworu 5/2 (3), a tłoczysko siłownika wycofuje się do pozycji wyjściowej. Gdyby przycisk zaworu 3/2 (1) był wciśnięty nieprzerwanie, wówczas zawór 3/2 (2) nie mógłby przełączyć pneumatycznie sterowanego zaworu 5/2 (3). Wynika to z jego konstrukcji, która pozwala na przesterowanie zaworu bistabilnego tylko wtedy, gdy druga komora sterująca zaworu jest odpowietrzona.

Wyeliminowanie wpływu wciśnięcia przycisku zaworu (1) na działanie układu jest możliwe poprzez zastosowanie w układzie elementu czasowego generującego impuls. Na rysunku 4.5 przedstawiono rozwiązanie zawierające przekaźnik czasowy (4).



Rys. 4.4. Schemat układu zapewniającego powrót tłoczyska po osiągnięciu skrajnego położenia [11]



Rys. 4.5. Schemat układu zapewniającego powrót tłoczyska po osiągnięciu skrajnego położenia z wykorzystaniem w układzie przekaźnika czasowego [11]

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności stosowania podstawowych układów sterowania.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania AutoSIM. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do wykonania ćwiczenia.

Treść zadania

Do wyboru przez prowadzącego:

Zadanie 1

Temat: Sterowanie siłownikiem dwustronnego działania z wykorzystaniem pamięci i funkcji LUB.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania zaworu logicznego LUB w układzie z pamięcią.

Opis:
Wciśnięty przycisk zaworu 3/2 (M1) lub zaworu 3/2 (M2) normalnie zamkniętego powoduje zadziałanie siłownika dwustronnego działania (A). Zwolnienie przycisków nie powoduje zmiany stanu siłownika. Siłownik jest sterowany zaworem 5/2 (VM). Powrót siłownika do pozycji początkowej jest realizowany poprzez wciśnięcie przycisku zaworu 3/2 (M3).

Wykonanie ćwiczenia:

- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.

Zadanie 2

Temat: Układ z przekaźnikiem czasowym.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania układu z przekaźnikiem czasowym.

Opis:

Wciśnięcie i przytrzymanie przycisku zaworu 3/2 (M1) normalnie zamkniętego powoduje zadziałanie siłownika dwustronnego działania (A). Zwolnienie przycisków nie powoduje zmiany stanu siłownika. Siłownik jest sterowany zaworem bistabilnym 5/2 (VM). Powrót siłownika do pozycji początkowej jest realizowany poprzez wciśnięcie przycisku zaworu 3/2 (M2).

Wykonanie ćwiczenia:

- Wybrać z tabeli 4.1 układ formujący sygnał odpowiedni do realizacji zadania.
- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.
- Wykonać opis działania układu.

Zadanie 3

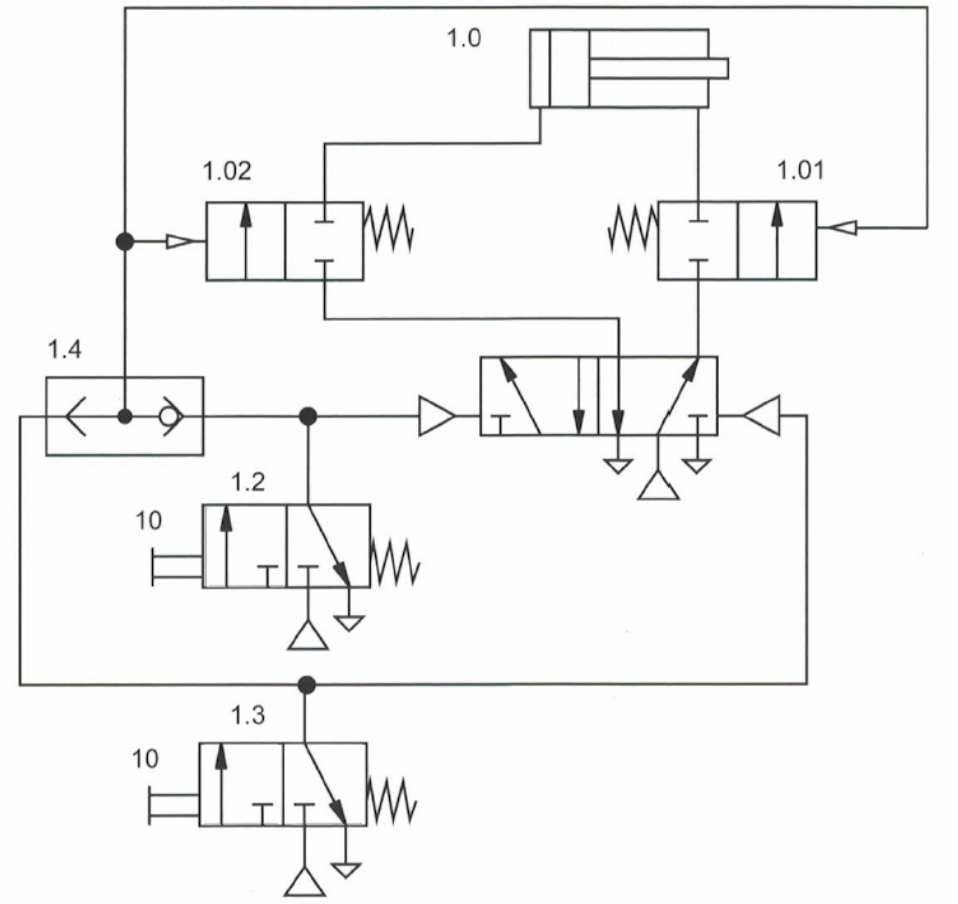
Temat: Sterowanie siłownikiem dwustronnego działania z wykorzystaniem pamięci i funkcji LUB z możliwością zatrzymania siłownika w pozycji pośredniej.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania zaworu logicznego LUB w układzie z pamięcią.

Opis:

Należy przeanalizować zasadę działania układu przedstawionego na schemacie.



Wykonanie ćwiczenia:

- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.
- Wykonać opis działania układu.

Zadanie 4

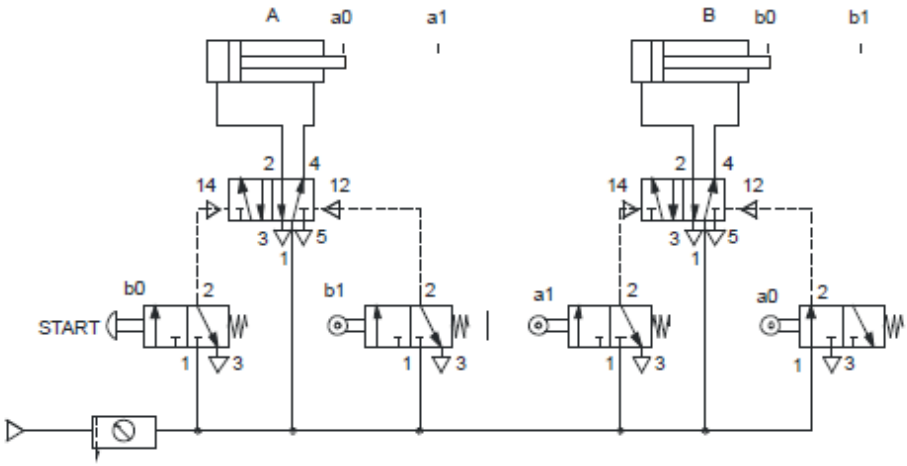
Temat: Układ sekwencyjny.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania układu sekwencyjnego.

Opis:

Należy przeanalizować zasadę działania układu przedstawionego na schemacie.



Wykonanie ćwiczenia:

- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.
- Wykonać opis działania układu.

Zadanie 5

Temat: Układ z pamięcią.

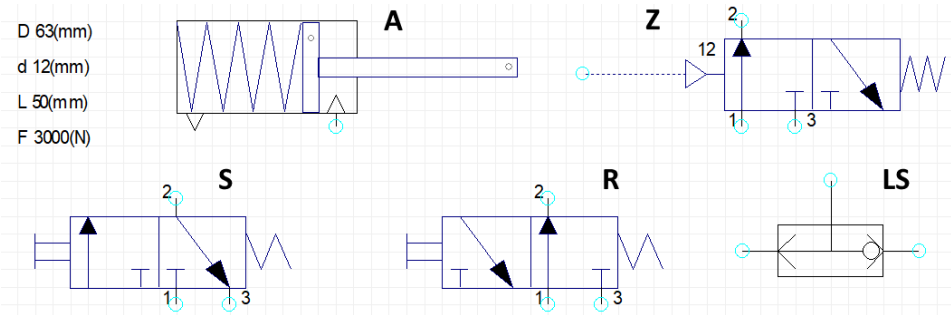
Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania układu z pamięcią.

Opis:

Zapamiętanie sygnału ma być zrealizowane z wykorzystaniem układu zawierającego monostabilne zawory 3/2. Zawór (Z) sterujący pracą siłownika jednostronnego działania (A) ma być sterowany sygnałem otrzymanym po naciśnięciu na przycisk zaworu S przy niewciśniętym przycisku zaworu (R). Po zwolnieniu przycisku (S) siłownik (A) ma utrzymywać się w pozycji wsuniętej. Po naciśnięciu przycisku zaworu

(R) ma nastąpić powrót siłownika do pozycji początkowej (wysunięte tłoczysko). Poniżej zamieszczono wykaz elementów sterujących i wykonawczych, które należy użyć w budowie układu.



Wykonanie ćwiczenia:

- Narysować schemat połączenia, używając symboli pneumatycznych.
- Przeprowadzić symulację działania układu pneumatycznego.
- Wykonać opis działania układu.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- kolejno przedstawione etapy konfiguracji układu,
- wyniki symulacji z omówieniem i wnioskami w zakresie odpowiadającym zadaniu.

ROZDZIAŁ 5

Układy sterowania pneumatycznego w praktyce

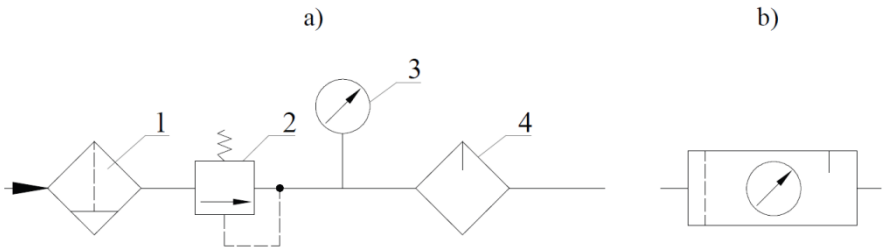
Układy sterowania wykorzystywane są do nadawania elementom wykonawczym określonych stanów. Układy pośrednie stosowane są głównie tam, gdzie występuje duże zapotrzebowanie na sprężone powietrze oraz przy znacznym oddaleniu elementu wykonawczego od operatora. Elementy pośrednie dają również możliwość budowania układów logicznych realizujących określone funkcje według założonego programu pracy. Można tutaj wykorzystywać elementy logiczne czy też przekaźniki czasowe. Nieodzownym elementem każdego układu jest również stacja przygotowania powietrza, która służy m.in. do ustalenia wartości ciśnienia pracy czy natężenia przepływu dostosowanego do zapotrzebowania elementów roboczych.

5.1. Przygotowanie sprężonego powietrza

W celu zapewnienia niezawodnego i długotrwałego użytkowania układów pneumatycznych, powietrze na wejściu musi być odpowiednio przygotowane. Odbywa się to w stacji zasilającej, w której następuje [6]:

- usunięcie zanieczyszczeń,
- osuszenie powietrza,
- naolejanie powietrza,
- ustalenie wartości ciśnienia.

Dopiero tak przygotowane powietrze jest kierowane do właściwych układów pneumatycznych. Na rysunku 5.1 przedstawiono schematycznie blok przygotowania powietrza.



Rys. 5.1. Symbol graficzny jednostki uzdatniającej (przygotowania powietrza): a) pełny, b) uproszczony, 1 – filtr, 2 – zawór redukcyjny, 3 – manometr, 4 – smarownica

W wersji rozbudowanej jednostki uzdatniającej montowane są również: separator wilgoci, osuszacz membranowy, zawór wolnego startu, zawór szybkiego odpowietrzania i inne dodatkowe elementy, takie jak czujniki, przepływomierze itp. (rys. 5.2).

Rys. 5.2. Zespół przygotowania powietrza [9]

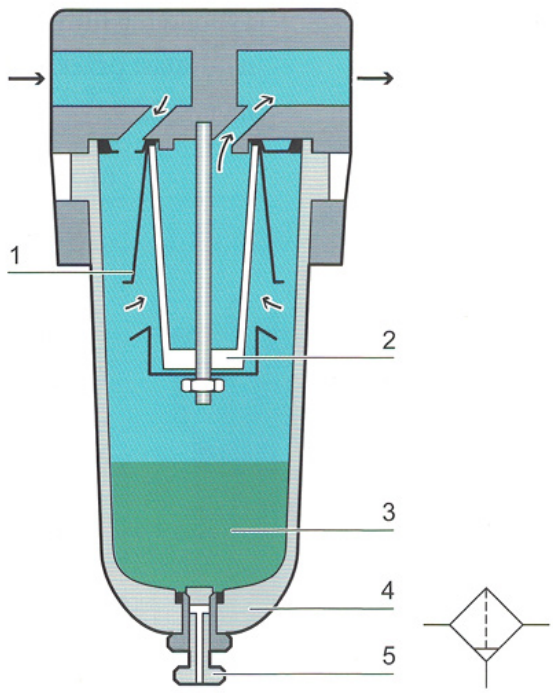
Głównym parametrem zespołu przygotowania powietrza jest całkowity wydatek powietrza podawany w [m^3/h]. Zapotrzebowanie urządzenia na większy wydatek powoduje spadek ciśnienia, co sprawia,

że dobór odpowiedniego zespołu do aplikacji jest istotny dla zapewnienia poprawnego funkcjonowania układu. Należy przy tym pamiętać, że ciśnienie robocze nie może przekraczać wartości określonej dla stacji przygotowania powietrza. To samo dotyczy temperatury pracy, która nie powinna być wyższa niż 50°C. Dobór zespołu należy przeprowadzić tak, aby w każdej chwili zapewnił on pełne zapotrzebowanie, w przypadku gdy w obwodzie urządzenia nie jest dołączony dodatkowy zbiornik.

Filtracja sprężonego powietrza odbywa się w filtrach, w których usuwane są przede wszystkim cząstki stałe. Są one filtrowane przez wkłady filtrujące o określonej dokładności oczyszczania. Jako standardową dokładność oczyszczania przyjmuje się 40 μm, co jest odpowiednikiem 7. klasy czystości sprężonego powietrza i jest wystarczające dla prawidłowej pracy armatury pneumatycznej. W przypadku stosowania precyzyjnych elementów pneumatyki dokładność filtracji powinna wynosić 5 μm, co według normy ISO 8573-1:2010 oznacza 5 klasę czystości powietrza. Standardowe filtry usuwają również wodę wytrąconą poprzez rozprężanie się medium roboczego. Usuwane są także większe drobiny oleju, które siłą odśrodkową po zawirowaniu strugi wyrzucane są na powierzchnię wewnętrzną filtra (rys. 5.3). Kierunek ruchu sprężonego powietrza wewnątrz filtra wymuszony jest przez kierownicę (1), która nadaje mu ruch wirowy. Na skutek siły odśrodkowej zanieczyszczenia osadzają się na ściance i spływają do miski (4). Talerz kierownicy znajduje się pod wkładem filtracyjnym (2) i dzieli wnętrze tak, aby kondensat (3) nie był przenoszony do układu przez przepływające powietrze. Dalsze oczyszczanie odbywa się poprzez przepływanie powietrza przez wkład o średnicy porów odpowiadającej wymaganej klasie czystości powietrza. Na wkładzie tym osadzają się pozostałe nieczystości. Skondensowana w filtrze woda gromadzi się w dolnej części zbiornika wraz z odseparowanymi zanieczyszczeniami. Wymagane jest okresowe opróżnianie misy, zanim ilość kondensatu osiągnie poziom powodujący ryzyko przeniesienia go przez strumień powietrza do elementów sterujących. Zbiornik opróżniany jest ręcznie z wykorzystaniem zaworu spustowego (5).

Spust nagromadzonego kondensatu odbywa się zwykle poprzez wkręcenie korka lub jego naciśnięcie. Używane są również automatyczne spusty kondensatu (rys. 5.4). W takim rozwiązaniu kondensat z filtru przepływa przez przewód (1) do zbiornika (3), w którym

umieszczony jest pływak (2). Kondensat napełniając zbiornik podnosi w górę pływak, który po osiągnięciu określonego poziomu, działając na dźwignię, odsłania dyszę (10). Wtedy przez otwór (9) powietrze dostaje się do komory pod membranę. Wzrost ciśnienia w tej komorze powoduje ugięcie membrany (6), która uruchamia zawór spustowy (4). Następuje otwarcie zaworu spustowego, co umożliwia wypływ kondensatu przez otwór (7) na zewnątrz. Po obniżeniu się poziomu kondensatu pływak ponownie zamyka dyszę. Komora nad membraną odpowietrzana jest przez dyszę (5). Możliwe jest również opróżnianie zbiorniczka ręcznie poprzez naciśnięcie na trzpień (8) [9].



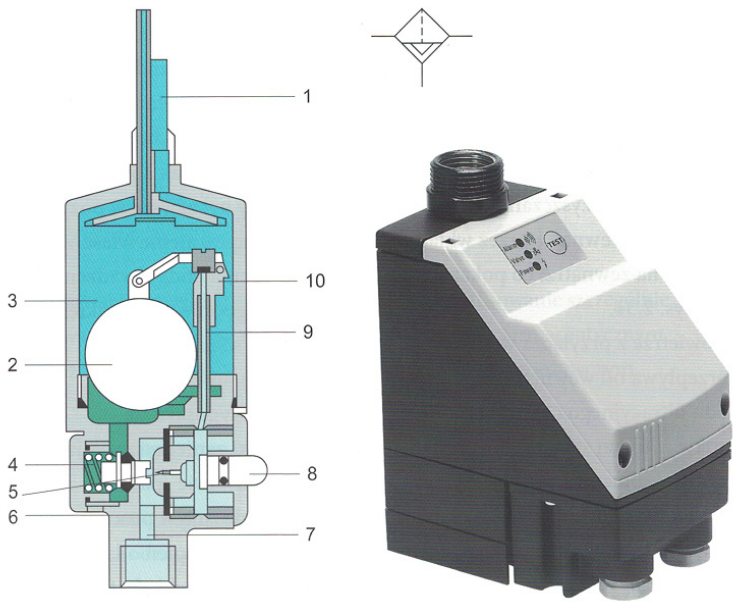
Rys. 5.3. Filtr sprężonego powietrza [3]

Usunięcie wody, niezbędne dla prawidłowej pracy elementów i układów pneumatyki, jest realizowane przez filtry. Dokładne usuwanie wody z medium roboczego, wymagane w niektórych aplikacjach, jest realizowane w osuszaczach wykorzystujących zjawiska fizyczne i chemiczne (osuszacze membranowe, osuszacze ziębnicze, osuszacze

absorpcyjne). Wytrącająca się woda w instalacjach pneumatycznych jest przyczyną wielu zakłóceń i awarii.

Do najistotniejszych ich przyczyn zalicza się [6]:

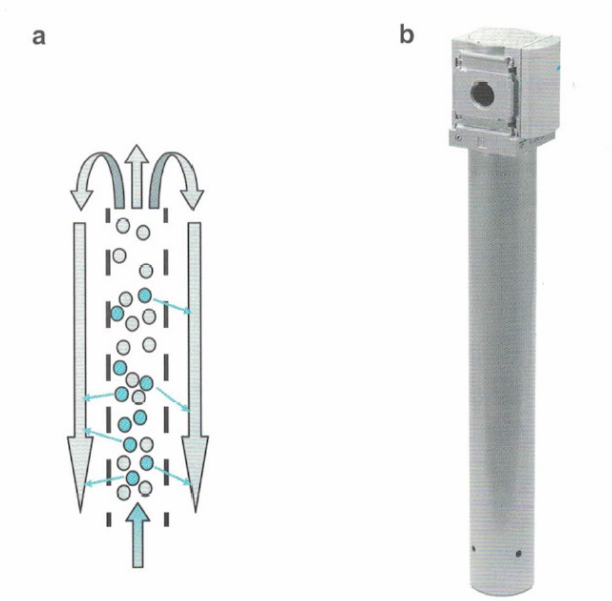
- Korozję powodującą wtórne zanieczyszczenie powietrza cząstkami stałymi oraz osłabiającą konstrukcję instalacji i urządzeń pneumatycznych.
- Zmniejszenie czynnego przekroju kanałów w elementach pneumatycznych oraz zwiększenie współczynnika tarcia powietrza o ich skorodowane powierzchnie.
- Wypłukiwanie smarów stałych z elementów ruchomych urządzeń pneumatycznych wywołujące ich nadmierne zużywanie lub awarie.



Rys. 5.4. Automatyczny spust kondensatu [3]

W zespołach przygotowania powietrza dość często stosuje się osuszacze membranowe, w których wykorzystuje się specjalne włókno lumenizowane. Włókno to charakteryzuje się tym, że łatwo przepuszcza wilgoć, a bardzo trudno przepuszcza powietrze. Włókna mają kształt membrany i po podaniu na wejście powietrza zawierającego wilgoć na skutek różnicy ciśnień cząsteczki wilgoci przenikają na zewnątrz

membrany (rys. 5.5). Część powietrza osuszonego kierowana jest z powrotem w celu oczyszczenia membrany z wilgoci i wyrzucana do atmosfery.



Rys. 5.5. Schemat działania osuszacza membranowego a) schemat ideowy, b) widok ogólny [3]

Oprócz stosowania specjalistycznych urządzeń do usuwania wody, można już na etapie projektowania instalacji uniknąć nadmiernego gromadzenia się wody. Oto kilka praktycznych metod [6]:

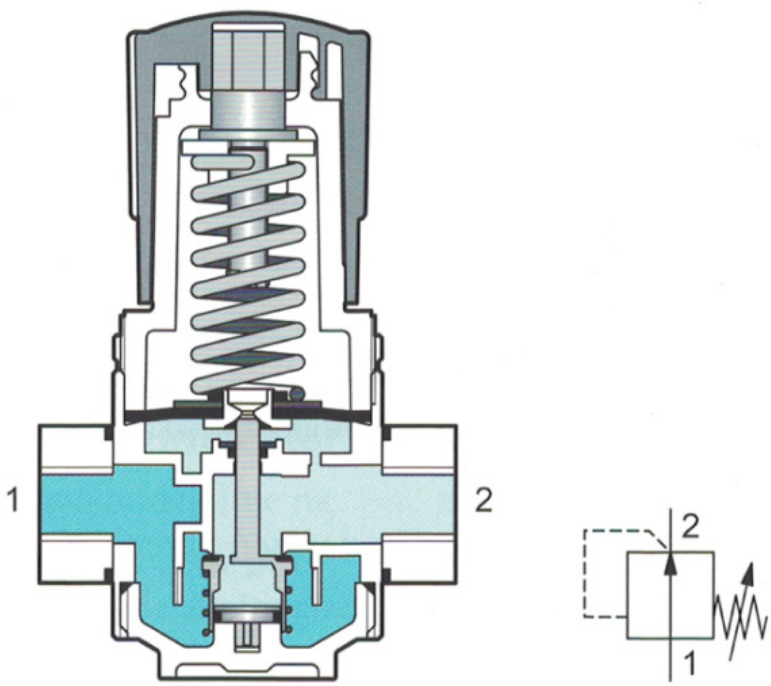
- Należy prowadzić instalacje pneumatyczne pod niewielkim kątem wznoszącym, aby kondensat wody spływał w najniższy jej punkt, skąd będzie usuwany na zewnątrz.
- Należy prowadzić odejścia (piony) z instalacji głównej poprzez podłączenie tylko z góry przewodu zasilającego, co zapobiega przedostawaniu się już wytrąconego kondensatu do odbiorników.
- Należy stosować odwadniacze cyklonowe nie tylko za sprężarką lub zbiornikiem powietrza, ale także przed każdym odbiornikiem.
- Należy stosować duże redukcje ciśnienia roboczego w stosunku do ciśnienia zasilania.

Obecnie wytwarzane pneumatyczne elementy napędowe w większości nie wymagają do prawidłowej pracy sprężonego powietrza nasyconego olejem. Wynika to z ich budowy oraz użytych materiałów.

Do redukcji ciśnienia w instalacjach pneumatycznych do wymaganego poziomu stosuje się reduktory ciśnienia. Są to zawory należące do grupy elementów pneumatyki sterujących ciśnieniem (zwykle nastawiane ręcznie), których zadaniem jest utrzymywanie stałej wartość ciśnienia medium roboczego na wyjściu, niezależnie od zmian wyższego ciśnienia wejściowego bez względu na zmiany wartości natężenia przepływu czynnika przepływającego przez zawór.

Elementy redukujące ciśnienie robocze sprężonego powietrza do wymaganego poziomu dzielą się na następujące grupy [6]:

- bezpośredniego działania (reduktor) (rys. 5.6),
- z ciśnieniem sterującym:
  - z zewnętrznym ciśnieniem odniesienia,
  - z wewnętrznym ciśnieniem odniesienia,
- elektroniczne:
  - z zaworami elektromagnetycznymi,
  - z zaworami piezoelektrycznymi.

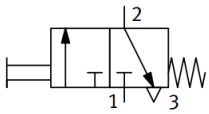


Rys. 5.6. Zawór redukcyjny [3]

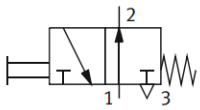
5.2. Elementy wykorzystywane w ćwiczeniu

W trakcie realizacji ćwiczenia na stanowisku będą dostępne następujące elementy:

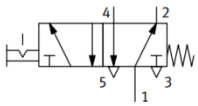
Zawór 3/2 monostabilny, sterowany ręcznie, NC (152860)



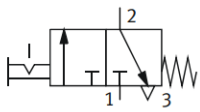
Zawór 3/2 monostabilny, sterowany ręcznie, NO (152861)



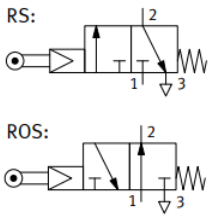
Zawór 5/2 bistabilny, sterowany ręcznie (152862)



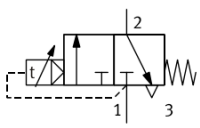
Zawór 3/2 bistabilny, NC (152863)



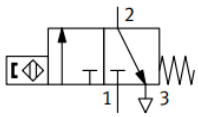
Zawór 3/2 sterowany mechanicznie rolką, NC/NO (152866)



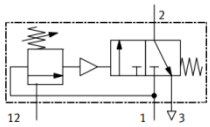
Pneumatyczny timer, NC (540694)

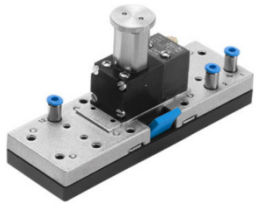


Czujnik zbliżeniowy,
pneumatyczny,
z mocowaniem na siłownik
(2764815)

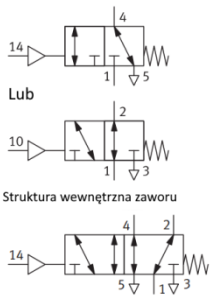


Zawór progowy
(152884)

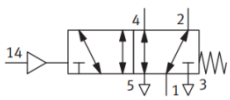




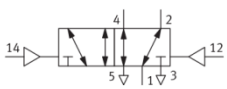
Zawór 3/2 monostabilny,
sterowany pneumatycznie
(576302)



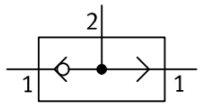
Zawór 5/2 monostabilny,
sterowany pneumatycznie
(576307)



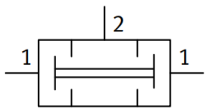
Zawór 5/2 bistabilny,
sterowany pneumatycznie
(576303)



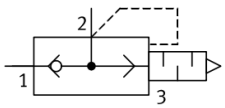
Zawór wielodrogowy (LUB)
(539771)



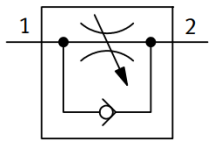
Zawór podwójnego sygnału
(I) (539770)



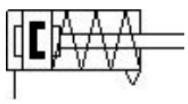
Zawór szybkiego spustu
(539772)

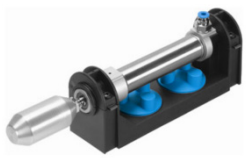


Zawór dławiąco-zwrotny
(193967)

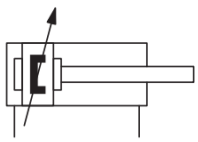


Siłownik jednostronnego
działania
(152887)

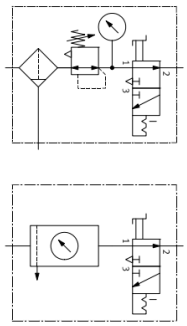




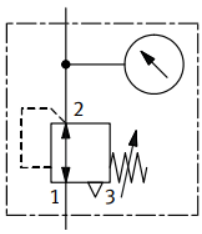
Siłownik dwustronnego
działania
(152888)



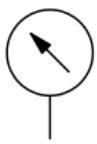
Zespół przygotowania powietrza (540691)



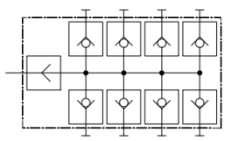
Zawór regulujący ciśnienie z manometrem (539756)



Manometr (152865)



Blok rozdzielczy (152896)



Z dokumentacją techniczną wymienionych elementów można się zapoznać, korzystając ze strony internetowej: https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/doc/

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności praktycznych stosowania podstawowych układów sterowania.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z pakietu szkoleniowego z zakresu pneumatyki.

Treść zadania

Do wyboru przez prowadzącego:

Zadanie 1

Temat: Sterowanie siłownikiem jednostronnego działania z wykorzystaniem funkcji LUB.

Cel szczegółowy:

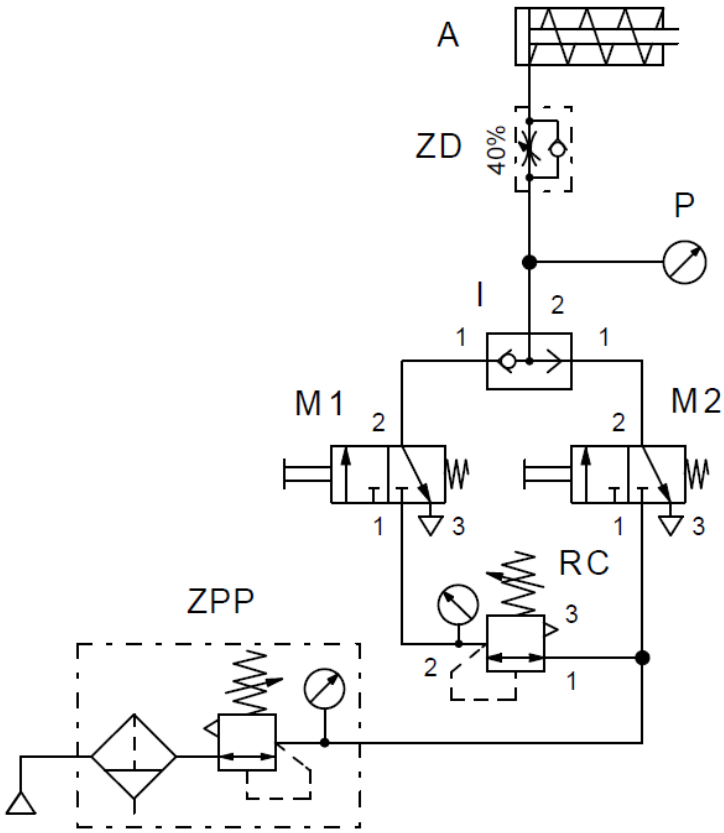
Zrozumienie zasady działania zaworu logicznego LUB.

Opis

Na stacji przygotowania powietrza (ZPP) należy ustawić ciśnienie 4 [bar]. Należy zmontować układ pneumatyczny zgodnie ze schematem. Na zaworze redukcyjnym (RC) 3,5 [bar]. Zawór dławiący (ZD) należy wyregulować tak, aby czas wysuwania siłownika w przypadku wciśnięcia przycisku zaworu M1 wynosił ok. 3 [s]. Należy przeprowadzić próby działania układu, rejestrując wartość ciśnienia na manometrze P po pełnym wysunięciu siłownika i stabilizacji wartości ciśnienia.

Próby te należy przeprowadzić dla trzech przypadków:

1. Wciśnięty przycisk zaworu M1.
2. Wciśnięty przycisk zaworu M2.
3. Wciśnięte jednocześnie przyciski zaworów M1 i M2.



Zadanie 2

Temat: Sterowanie siłownikiem jednostronnego działania z wykorzystaniem funkcji I.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania zaworu logicznego I.

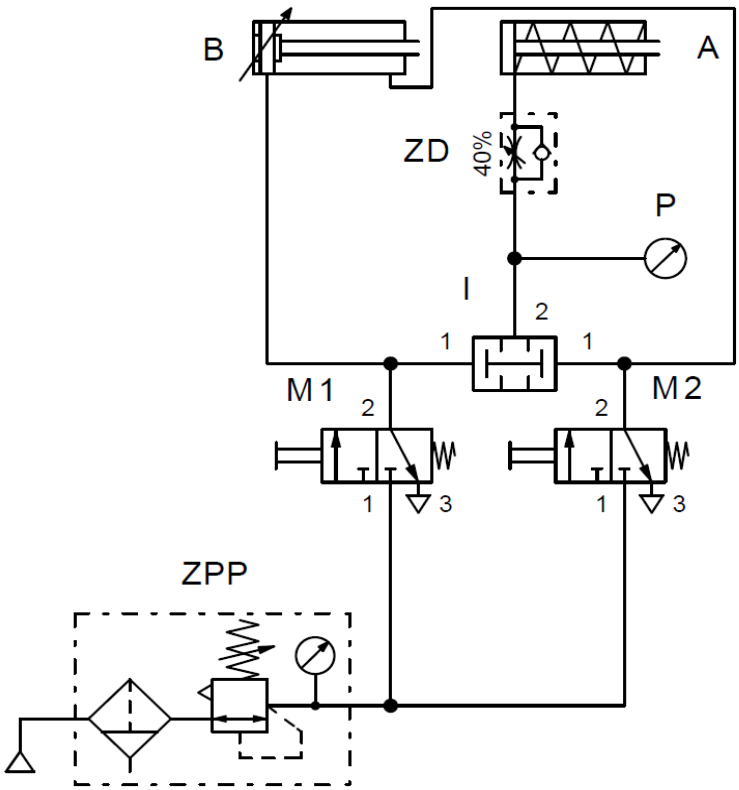
Opis

Na stacji przygotowania powietrza (ZPP) należy ustawić ciśnienie 4 [bar]. Zawór dławiący (ZD) należy wyregulować tak, aby czas wysuwania siłownika wynosił ok. 3 [s]. Regulację należy przeprowadzić

poprzez bezpośrednie podłączenie zaworu zwrotno-dławiącego do zaworu M1 z pominięciem zaworu logicznego I oraz siłownika B. Należy zmontować układ pneumatyczny zgodnie ze schematem. Następnie przeprowadzić próby działania układu, rejestrując wartość ciśnienia na manometrze P po pełnym wysunięciu siłownika i stabilizacji wartości ciśnienia.

Próby te należy przeprowadzić dla trzech przypadków:

1. Wciśnięty przycisk zaworu M1.
2. Wciśnięty przycisk zaworu M2.
3. Wciśnięte jednocześnie przyciski zaworów M1 i M2.



Zadanie 3

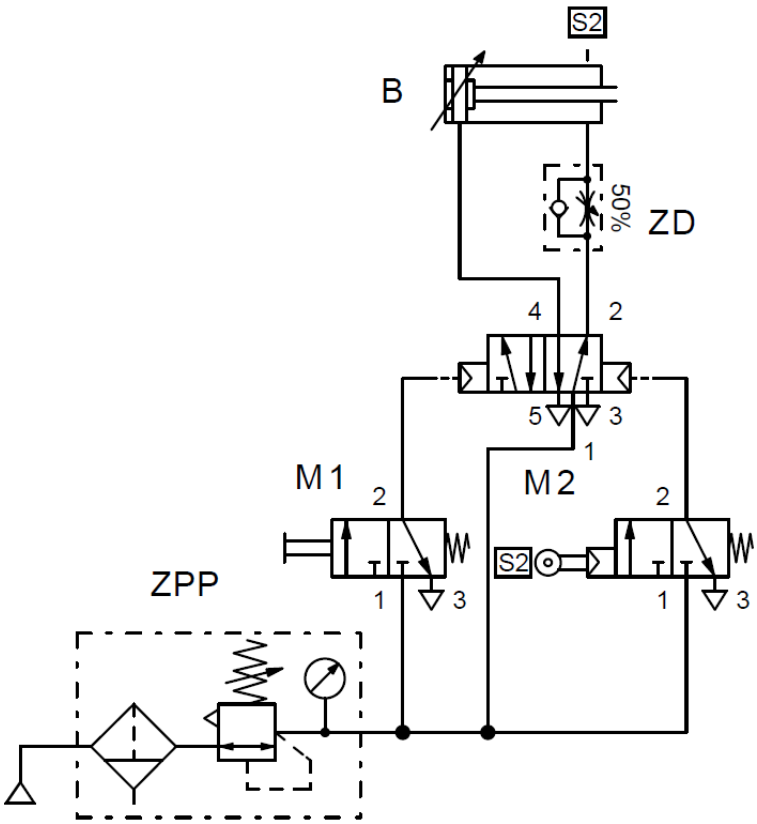
Temat: Sterowanie siłownikiem pracującym w cyklu pojedynczym.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania sterowania pośredniego.

Opis:

Na stacji przygotowania powietrza (ZPP) należy ustawić ciśnienie 4 [bar]. Zawór dławiący (ZD) należy wyregulować na 50% wartości przepływu. Należy zmontować układ pneumatyczny zgodnie ze schematem. Należy przeprowadzić próbę działania układu.



Zadanie 4

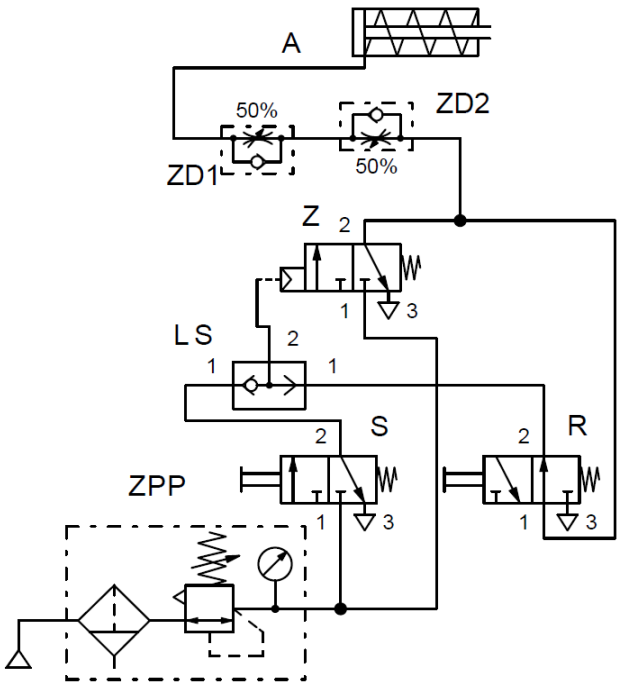
Temat: Układy pamięciowe.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania układu z podtrzymaniem sygnału.

Opis:

Na stacji przygotowania powietrza (ZPP) należy ustawić ciśnienie 4 [bar]. Zawory dławiące (ZD) należy wyregulować na 50% wartości przepływu. Następnie zmontować układ pneumatyczny zgodnie ze schematem. Należy przeprowadzić próbę działania układu.



Próby te należy przeprowadzić dla trzech przypadków:

1. Wciśnięty przycisk zaworu S.
2. Wciśnięty przycisk zaworu R.
3. Wciśnięte jednocześnie przyciski zaworów S i R.

Zadanie 5

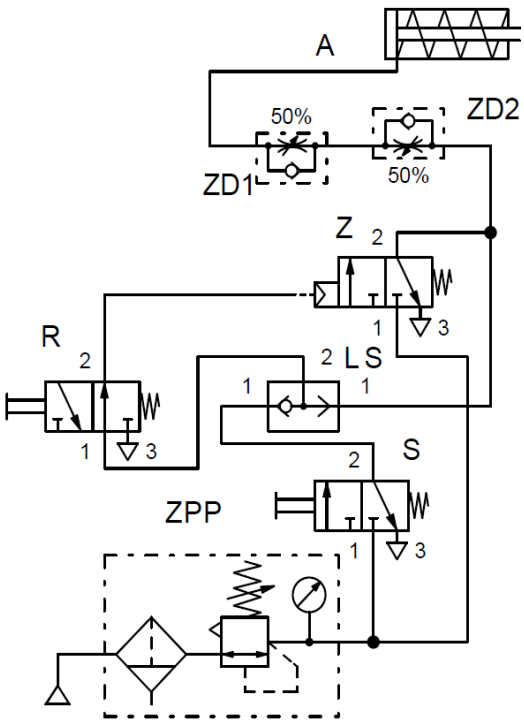
Temat: Układy pamięciowe.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania układu z podtrzymaniem sygnału.

Opis:

Na stacji przygotowania powietrza (ZPP) należy ustawić ciśnienie 4 [bar]. Zawory dławiące (ZD) należy wyregulować na 50% wartości przepływu. Następnie zmontować układ pneumatyczny zgodnie ze schematem. Należy przeprowadzić próbę działania układu.



Próby te należy przeprowadzić dla trzech przypadków:

1. Wciśnięty przycisk zaworu S.
2. Wciśnięty przycisk zaworu R.
3. Wciśnięte jednocześnie przyciski zaworów S i R.

Zadanie 6

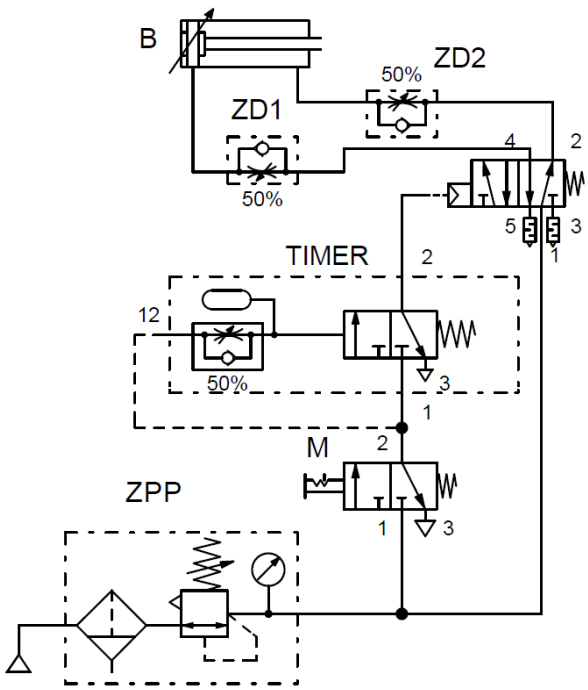
Temat: Opóźnienie czasowe.

Cel szczegółowy:

Zrozumienie zasady działania układu z opóźnieniem czasowym.

Opis:

Na stacji przygotowania powietrza (ZPP) należy ustawić ciśnienie 4 [bar]. Zawory dławiące (ZD) należy wyregulować na 50% wartości przepływu. Następnie zmontować układ pneumatyczny zgodnie ze schematem. Na zaworze czasowym należy ustawić czas 3 [s], a następnie przeprowadzić próbę działania układu.



Sprawozdanie powinno zawierać:

- zdjęcia potwierdzające zbudowanie układu,
- opis działania układu z omówieniem i wnioskami.

ROZDZIAŁ 6

Podstawy elektropneumatyki

Połączenie sterowania elektrycznego i pneumatycznego stwarza możliwości wykorzystania zalet obu systemów. Dzięki takiemu połączeniu uzyskuje się znacznie prostsze i bardziej funkcjonalne układy w porównaniu do samych układów pneumatycznych. W sterowaniu elektropneumatycznym po stronie elektrycznej, stanowiącej część informacyjną, realizowane jest przetwarzanie i przenoszenie sygnałów sterujących, zaś po stronie pneumatycznej, stanowiącej część energetyczną, przenoszenie strumienia mocy i sterowanie odbiornikiem [4]. Przejście ze strony elektrycznej na pneumatyczną odbywa się w przetwornikach elektropneumatycznych typu E/P. Przetwornikiem jest zawór rozdzielający elektropneumatyczny. Zawory te niezależnie od budowy i wielkości obok funkcji przetwornika pełnią również funkcję wzmacniacza. Polega to na tym, że sygnał elektryczny o niewielkiej mocy jest przetwarzany w strumień mocy, który jest zależny od natężenia przepływu i ciśnienia czynnika roboczego. W skład układów elektrycznych wchodzą: elektromagnesy, przekaźniki, przyciski, wyłączniki krańcowe, czujniki położenia i ciśnienia oraz inne elementy sterowania elektrycznego, jak też elementy i urządzenia elektroniczne. Zasadniczą zaletą sterowania elektropneumatycznego jest szybkość przenoszenia sygnałów na znaczne odległości. Szybkość przesyłu informacji drogą elektryczną w połączeniu z parametrami napędu pneumatycznego, umożliwia w praktyce sterowanie większością procesów produkcyjnych.

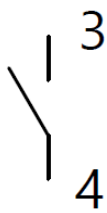
6.1. Elementy sterowania elektrycznego

6.1.1. Łączniki elektromagnetyczne

Styczniki i przekaźniki to elementy składające się z cewki oraz zestyków. Bardzo często nazywane są łącznikami elektromagnetycznymi. Zasada działania styczników i przekaźników oparta jest na mechanicznym połączeniu styków z chwilą podania napięcia na cewkę [16].

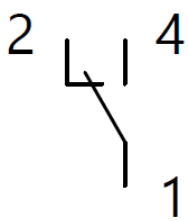
Wyróżniamy:

- zestyk czynny – normalnie otwarty NO – zestyk zwierny (rys. 6.1),
- zestyk bierny – normalnie zamknięty NC – zestyk rozwierny (rys. 6.2),
- zestyk przełączający (rys. 6.3).



Rys. 6.1. Symbol zestyku NO

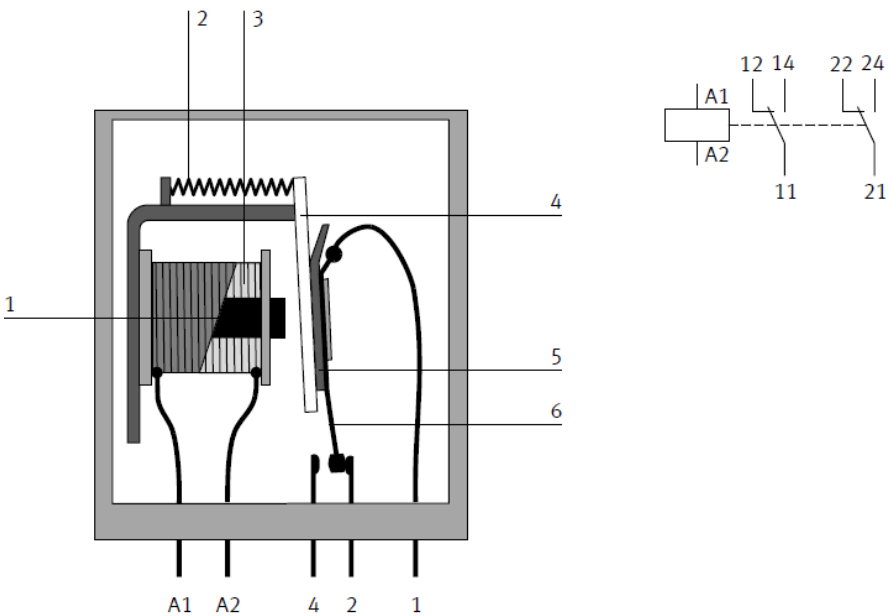
Rys. 6.2. Symbol zestyku NC



Rys. 6.3. Symbol zestyku przełączającego

Styczniki są urządzeniami elektromagnetycznymi, w których działanie następuje po doprowadzeniu napięcia do cewki elektromagnetycznej. Powoduje to wytworzenie się pola magnetycznego w rdzeniu i przyciągnięcie ruchomej zwory tego rdzenia. W konsekwencji następuje zamknięcie styków normalnie otwartych NO i otwarcie styków normalnie zamkniętych NC stycznika [16].

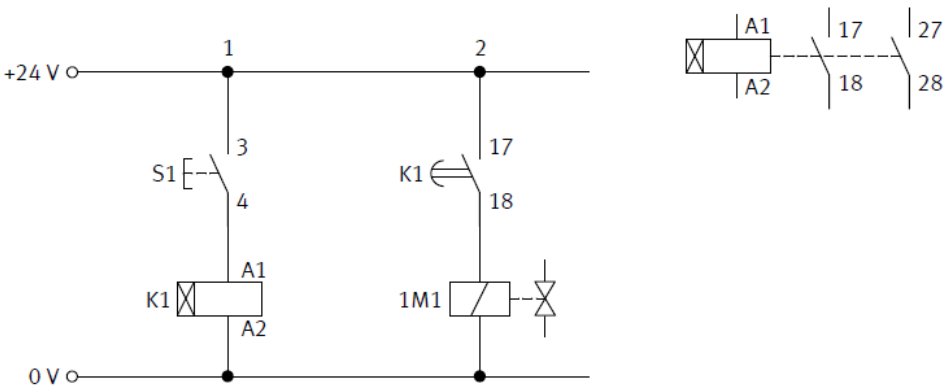
Przekaźniki są wykorzystywane do wykonywania czynności łączeniowych w obwodach sterowania i nie są przystosowane do przewodzenia dużych prądów. Przekaźnik to przełącznik uruchamiany elektromagnetycznie, w którym znajduje się obwód sterujący i obwód sterowany oddzielone od siebie elektrycznie (rys. 6.4). Przekaźnik składa się z cewki (3) z metalowym rdzeniem (1), mechanicznego elementu uruchamiającego (4), sprężyny powrotnej (2) i styków przełączających (6). Gdy do cewki elektromagnesu przykładane jest napięcie, generowane jest pole elektromagnetyczne. Pole to powoduje przemieszczenie się elementu uruchamiającego w stronę rdzenia cewki. W efekcie tego przemieszczenia następuje odpowiednie połączenie styków przekaźnika. W momencie przerwania przepływu prądu przez cewkę zanika pole elektromagnetyczne, a sprężyna powoduje powrót elementu uruchamiającego do pozycji początkowej. Cewka przekaźnika może służyć do przełączania jednego lub większej liczby styków.



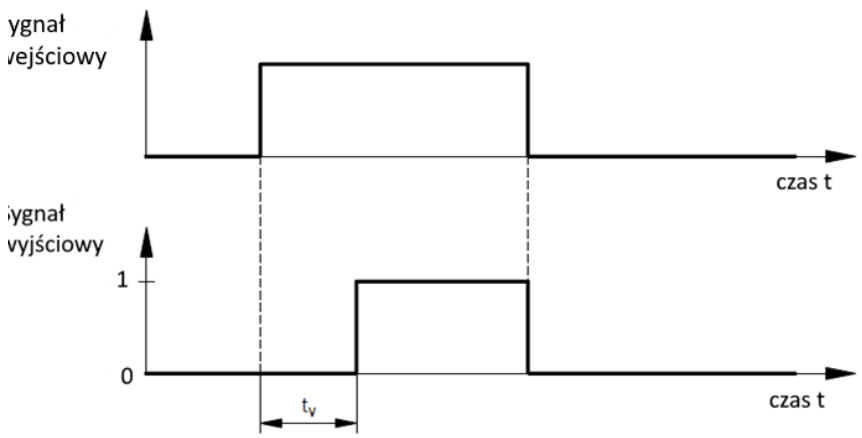
Rys. 6.4. Konstrukcja i symbol zestyku przełączającego przekaźnika [9]

Osobną grupę przekaźników stanowią przekaźniki czasowe. Służą one do realizacji funkcji czasowych w układach stycznikowo-przekaźnikowych. Ich budowa oparta jest na układach elektronicznych. Podstawowymi funkcjami tych układów są:

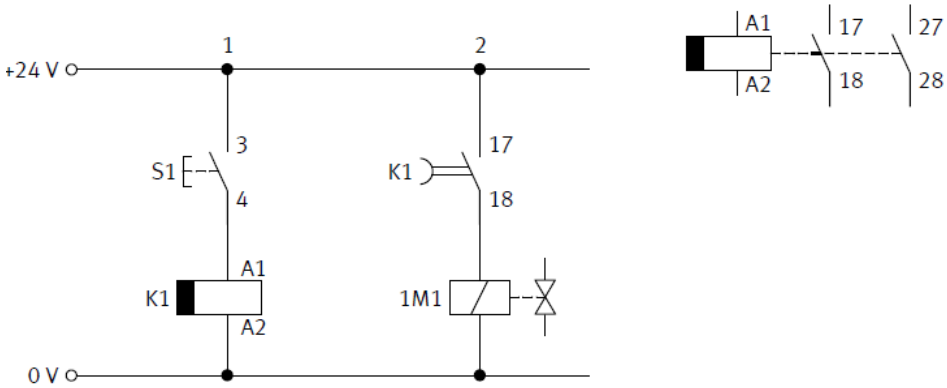
- Opóźnienie załączania; po podaniu napięcia zasilającego jest odmierzany nastawiony czas. Po upływie zadanego czasu przekaźnik włączy się i pozostanie w tym stanie aż do wyłączenia napięcia zasilającego (rys. 6.5 i 6.6).



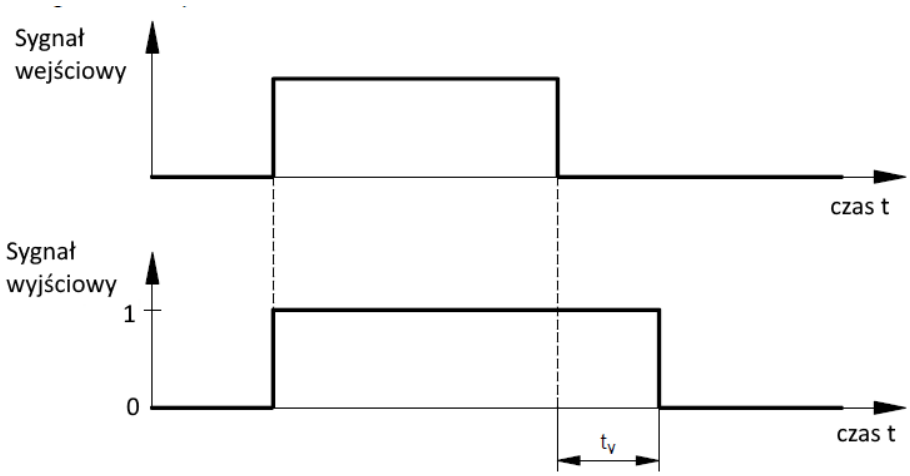
Rys. 6.5. Schemat obwodu z przekaźnikiem opóźnienia załączania



Rys. 6.6. Przebieg sygnału przekaźnika z opóźnieniem załączenia



Rys. 6.7. Schemat obwodu z przekaźnikiem opóźnienia wyłączania



Rys. 6.8. Przebieg sygnału przekaźnika z opóźnieniem wyłączenia

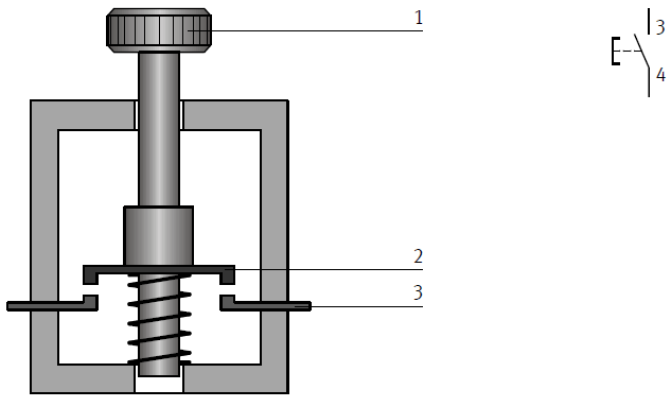
Opóźnienie wyłączania; po podaniu napięcia zasilającego przekaźnik zostaje włączony. W momencie wyłączenia zasilania rozpoczyna się odmierzanie nastawionego czasu. Po upływie zadanego czasu przekaźnik wyłącza się (rys. 6.7 i 6.8).

6.1.2. Łączniki sterownicze

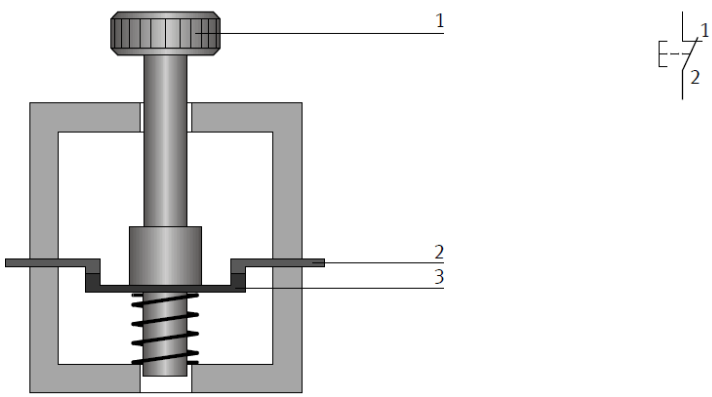
W układach sterowania używane są różnego rodzaju przyciski, przełączniki sterownicze, wyłączniki krańcowe i inne aparaty elektryczne. Użytkownik dzięki zastosowaniu łączników sterowniczych w obwodzie sterowania może załączyć i wyłączyć urządzenie czy też zmienić parametry jego pracy. Dzieje się to dzięki umożliwieniu lub przerwaniu

przepływu prądu w obwodzie. W zależności od ich konstrukcji łączniki te mogą być przyciskami lub przełącznikami. W przypadku przycisku wybrana pozycja przełączania jest utrzymywana tylko tak długo, jak długo przycisk jest uruchomiony. W przełączniku obie pozycje przełączania (WŁ./WYŁ.) są zablokowane mechanicznie. To powoduje, że każda pozycja przełączania jest utrzymywana aż do ponownego uruchomienia przełącznika.

Kolejnym kryterium klasyfikacji i wyboru łącznika jest ich stan przełączania w położeniu normalnym (tj. niezałączonym). Mogą one przyjmować dwa stany: normalnie otwarty NO i normalnie zamknięty NC. W przypadku styku normalnie otwartego obwód zostaje połączony po naciśnięciu przycisku. Po jego zwolnieniu obwód powraca do stanu początkowego (rys. 6.9).



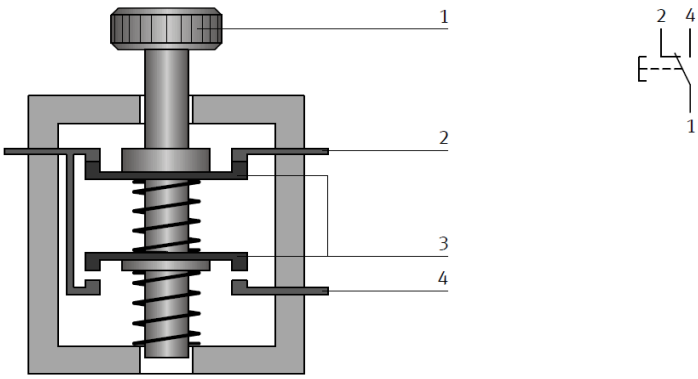
Rys. 6.9. Przekrój i symbol zestyku normalnie otwartego NO [9]



Rys. 6.10. Przekrój i symbol zestyku normalnie zamkniętego NC [9]

W przypadku styku normalnie zamkniętego obwód jest zamykany przez siłę sprężyny, gdy przycisk znajduje się w swoim normalnym położeniu (rys. 6.10). Naciśnięcie przycisku powoduje przerwanie obwodu.

Przełącznik przełączający łączy w jednym urządzeniu funkcje styku normalnie otwartego i normalnie zamkniętego (rys. 6.11). Jego zadaniem jest zamykanie jednego obwodu i otwieranie drugiego za pomocą jednej operacji przełączania. W stanie przejściowym oba obwody przełącznika są otwarte.



Rys. 6.11. Przekrój i symbol przełącznika przełączającego [9]

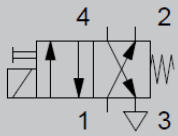
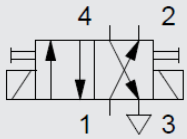
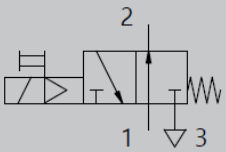
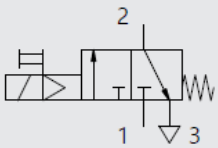
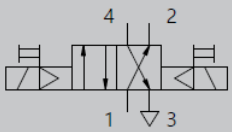
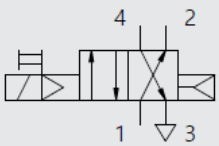
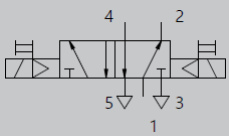
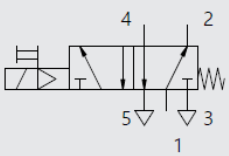
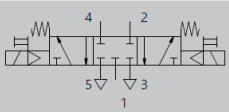
6.2. Zawory elektropneumatyczne

Zawór wyposażony jest w trzy porty przyłączeniowe i posiada dwie pozycje przełączania. Działa on w następujący sposób:

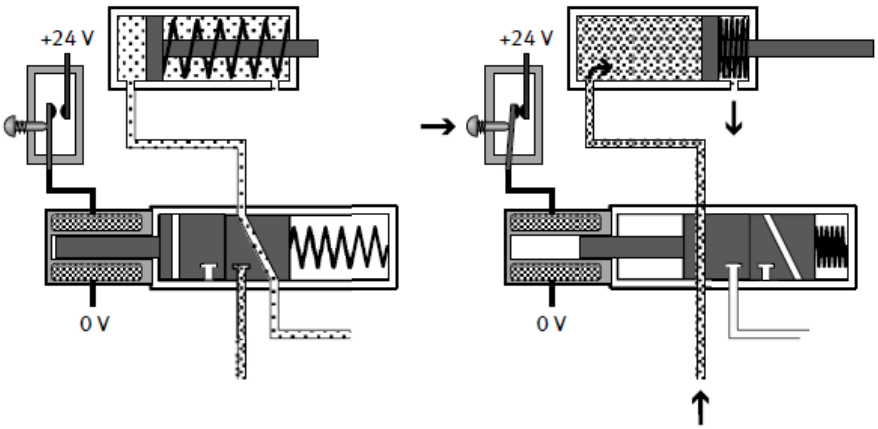
- Gdy cewka elektromagnetyczna zaworu rozdzielającego nie jest zasilana, komora siłownika nie jest napowietrzana, a tłoczysko jest wycofane.
- Po zasileniu cewki elektromagnesu następuje przełączenie zaworu sterującego, a komora siłownika jest zasilana. Tłoczysko przesuwa się do przodu.
- Kiedy cewka elektromagnesu przestaje być zasilana, zawór przełącza się do stanu początkowego. Lewa komora cylindra jest odpowietrzana, a tłoczysko cofa się do stanu początkowego w wyniku działania siły sprężyny umieszczonej w siłowniku.

W tabeli 6.1 przedstawiono przykłady zaworów sterowanych elektrycznie z wykorzystaniem cewki elektromagnetycznej.

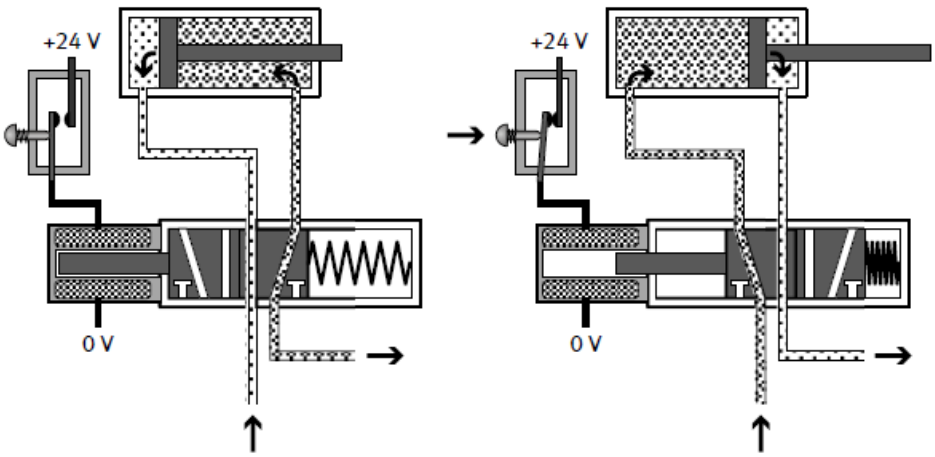
Tabela 6.1. Przykłady zaworów elektropneumatycznych

Symbol	Opis
	Zawór monostabilny 4/2 przełączany jedną cewką elektromagnetyczną. Powrót zaworu do stanu początkowego realizowany jest przez sprężynę. Możliwość przełączenia ręcznego
	Zawór bistabilny 4/2 przełączany cewkami elektromagnetycznymi. Możliwość przełączenia ręcznego
	Zawór monostabilny 3/2 przełączany jedną cewką elektromagnetyczną z pilotem. Przyłącze 1 jest otwarte. Powrót zaworu do stanu początkowego realizowany jest przez sprężynę. Możliwość przełączenia ręcznego
	Zawór monostabilny 3/2 przełączany jedną cewką elektromagnetyczną z pilotem. Przyłącze 1 jest zamknięte. Powrót zaworu do stanu początkowego realizowany jest przez sprężynę. Możliwość przełączenia ręcznego
	Zawór bistabilny 4/2 przełączany cewkami elektromagnetycznymi z pilotem. Możliwość przełączenia ręcznego
	Zawór monostabilny 4/2 przełączany cewką elektromagnetyczną z pilotem. Możliwość przełączenia ręcznego. Powrót zaworu do stanu początkowego realizowany jest przez sprężynę z wspomaganiem pilotem
	Zawór bistabilny 5/2 przełączany cewkami elektromagnetycznymi z pilotem. Możliwość przełączenia ręcznego
	Zawór monostabilny 5/2 przełączany cewką elektromagnetyczną z pilotem. Możliwość przełączenia ręcznego. Powrót zaworu do stanu początkowego realizowany jest przez sprężynę
	Zawór monostabilny 5/3 przełączany cewkami elektromagnetycznymi z pilotem. Możliwość przełączenia ręcznego. Powrót zaworu do stanu początkowego realizowany jest przez sprężyny

Na rysunku 6.12 przedstawiono zawór uruchamiany elektromagnetycznie, który steruje ruchem siłownika jednostronnego działania.



Rys. 6.12. Schemat sterowania siłownikiem jednostronnego działania za pomocą zaworu monostabilnego elektromagnetycznego 3/2 [9]



Rys. 6.13. Schemat sterowania siłownikiem dwustronnego działania za pomocą zaworu bistabilnego elektromagnetycznego 5/2 [9]

Na rysunku 6.13 przedstawiono zawór uruchamiany elektromagnetycznie, który steruje ruchem siłownika dwustronnego działania. Siłownik ten jest uruchamiany przez zawór rozdzielający z pięcioma portami przyłączeniowymi i posiada dwie pozycje pracy.

Działa on w następujący sposób:

- Gdy cewka elektromagnesu nie jest zasilana, lewa komora siłownika jest odpowietrzona, a prawa komora cylindra jest zasilana sprężonym powietrzem. W efekcie tłoczysko jest cofnięte.
- Po zasileniu cewki elektromagnesu następuje przełączenie zaworu. Lewa komora siłownika jest zasilana powietrzem, a prawa komora jest odpowietrzana. Tłoczysko przesuwa się do przodu.
- Kiedy cewka elektromagnesu przestaje być zasilana, zawór przełącza się do stanu początkowego. Lewa komora cylindra jest odpowietrzana, a tłoczysko cofa się do stanu początkowego w wyniku zasilania przez zawór prawej komory siłownika.

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności stosowania podstawowych układów elektropneumatyki.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania AutoSIM. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do wykonania ćwiczenia.

Treść zadania

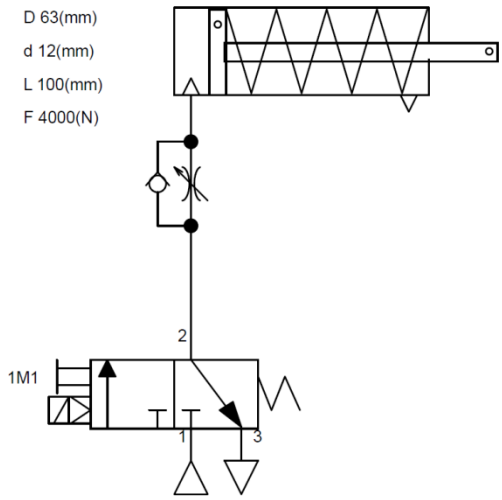
Do wyboru przez prowadzącego:

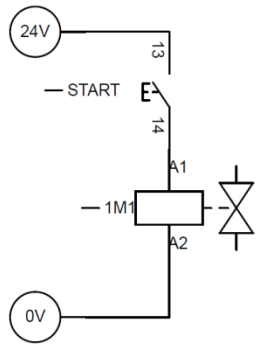
Zadanie 1A

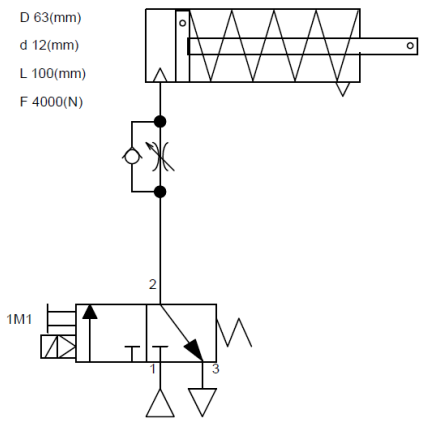
Zaprojektować układ sterowania siłownikiem jednostronnego działania (bezpośredni i pośredni) uruchamiany pojedynczym przyciskiem START. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworu dławiącego wynosi 50%.

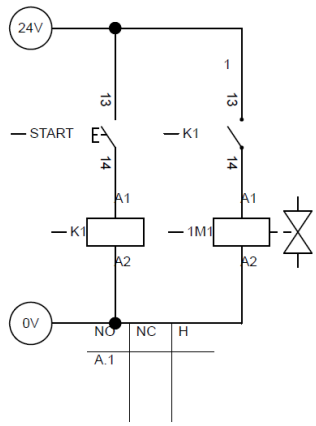
Działanie układu:

Po naciśnięciu przycisku START nastąpi wysunięcie tłoczyska siłownika zaś po zwolnieniu nastąpi jego szybki powrót.









Zadanie 1B:

Zbudować układ sterowania siłownikiem jednostronnego działania (bezpośredni i pośredni) uruchamiany jednym z dwóch przycisków S1 lub S2.

Działanie układu:

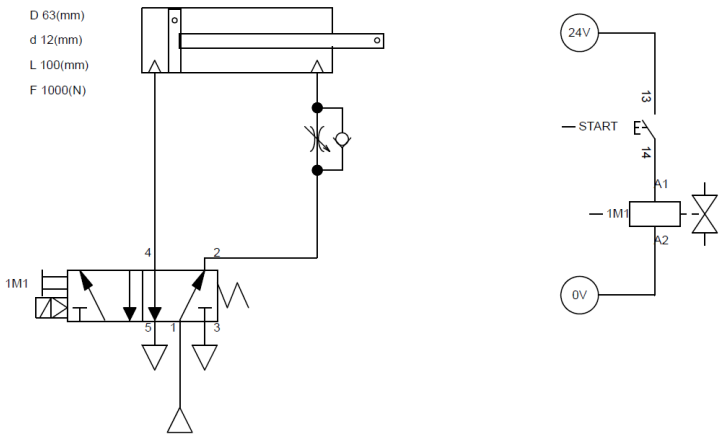
Po naciśnięciu przycisku S1 lub S2 nastąpi wysunięcie tłoczyska siłownika zaś po zwolnieniu nastąpi jego szybki powrót.

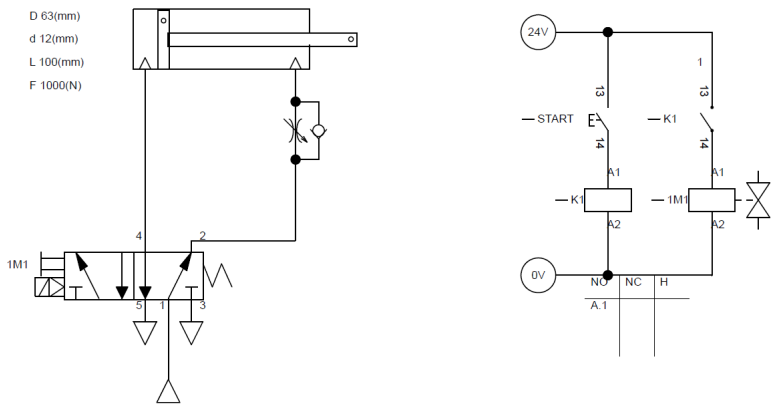
Zadanie 2A

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania (bezpośredni i pośredni) uruchamiany pojedynczym przyciskiem START. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworu dławiącego wynosi 50%.

Działanie układu:

Po naciśnięciu przycisku START nastąpi powolne wysunięcie tłoczyska siłownika zaś po zwolnieniu nastąpi jego szybki powrót.





Zadanie 2B:

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania (bezpośredni i pośredni) uruchamiany jednym z dwóch przycisków S1

lub S2. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworu dławiącego wynosi 50%.

Działanie układu:

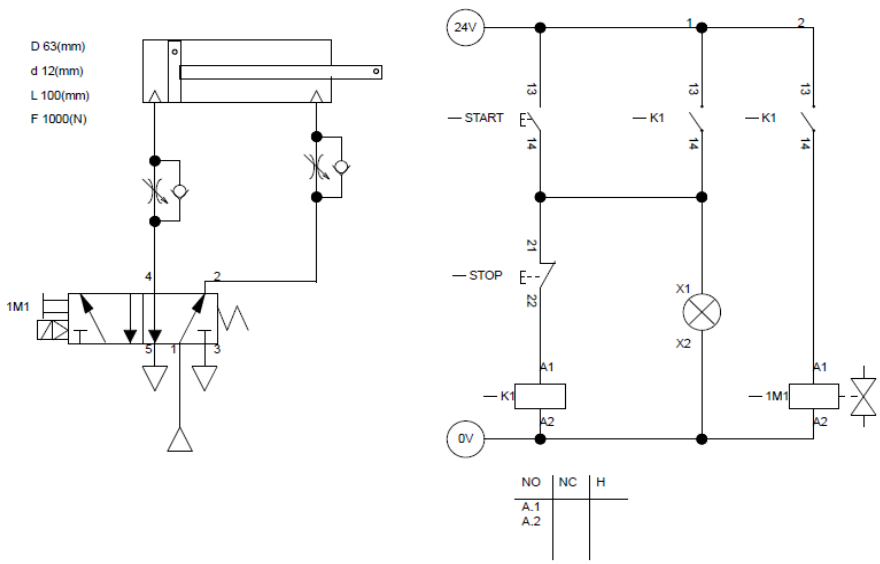
Po naciśnięciu przycisku S1 lub S2 nastąpi szybkie wysunięcie tłoczyska siłownika zaś po zwolnieniu nastąpi jego powolny powrót.

Zadanie 3A

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania z zaworem monostabilnym z kontrolą prędkości wysuwania i wsuwania tłoczyska oraz pneumatycznym układem pamiętającym (przerzutnik WZ). Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworów dławiących wynosi 50%.

Działanie układu:

Po naciśnięciu przycisku START nastąpi wysunięcie tłoczyska siłownika i zapamiętanie aktualnego stanu, po naciśnięciu przycisku STOP nastąpi szybki powrót tłoczyska siłownika z jednoczesnym wyzerowaniem stanu układu pamięci. Przeregulowanie zaworu odpowiadające pozycji wysuwania ma być sygnalizowane poprzez zapalenie żółtej lampki sygnalizacyjnej.



Zadanie 3B

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania z zaworem bistabilnym 5/2 sterowanym dwoma niezależnymi przyciskami z kontrolą prędkości wysuwania i wsuwania tłoczyska. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworów dławiących wynosi 50%.

Działanie układu:

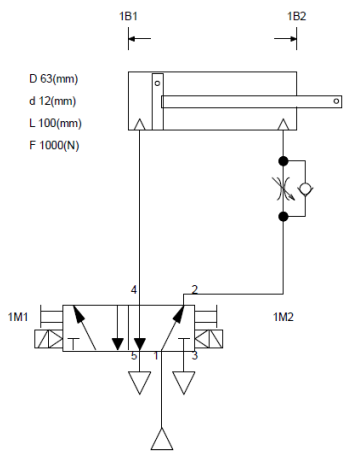
Po naciśnięciu przycisku S1 nastąpi wysunięcie tłoczyska siłownika, po naciśnięciu przycisku S2 nastąpi jego powrót.

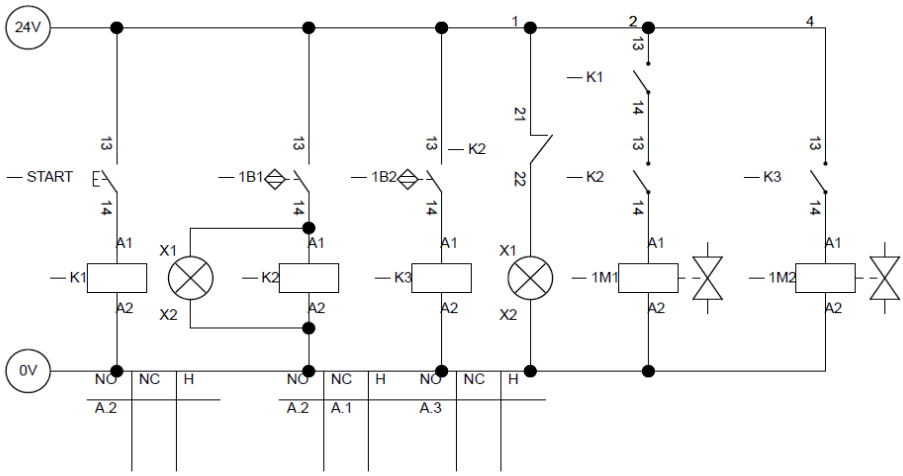
Zadanie 4A

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania z zaworem bistabilnym, automatycznym powrotem, regulacją prędkości wysuwania tłoczyska i kontrolą położenia tłoczyska w skrajnych pozycjach. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworów dławiących wynosi 50%.

Działanie układu:

Po naciśnięciu przycisku START, jeśli tłok jest w pozycji wsuniętej, nastąpi wysunięcie tłoczyska siłownika, a po osiągnięciu pozycji wysunięcia nastąpi jego automatyczny powrót. Osiągnięcie stanu odpowiadającego wsunięciu tłoczyska siłownika ma być sygnalizowane lampką kontrolną w kolorze zielonym. W trakcie ruchu siłownika ma być włączona lampka w kolorze żółtym.





Zadanie 4B

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania z układem sterowania umożliwiającym włączenie i wyłączenie pracy cyklicznego wysuwania i wsuwania tłoczyska napędu. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworów dławiących wynosi 50%.

Działanie układu:

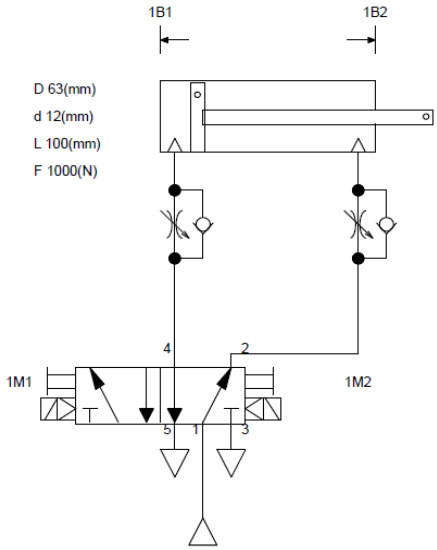
Po naciśnięciu przycisku S1 nastąpi wysunięcie tłoczyska siłownika, a po osiągnięciu pozycji wysunięcia nastąpi jego powrót.

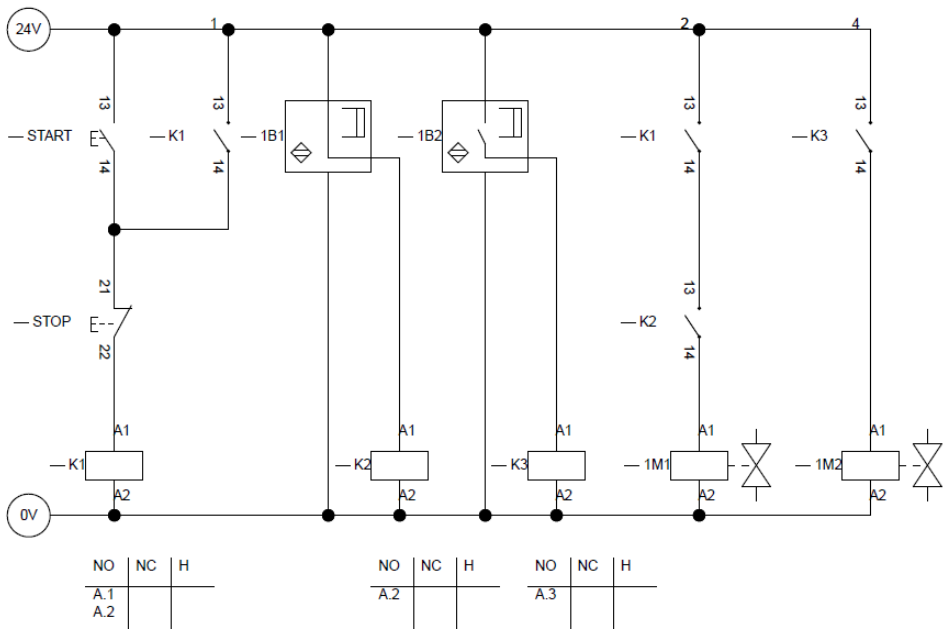
Zadanie 5A

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania z zaworem bistabilnym, automatycznym powrotem, regulacją prędkości ruchu tłoczyska i kontrolą położenia tłoczyska w skrajnych pozycjach. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworów dławiących wynosi 50%.

Działanie układu:

Po naciśnięciu przycisku START nastąpi zapamiętanie stanu przerzutnika WZ i uruchomienie cyklu pracy napędu. Położenie siłownika będzie kontrolowane z wykorzystaniem indukcyjnych czujników zbliżeniowych. Zatrzymanie układu będzie realizowane poprzez naciśnięcie przycisku STOP.





Zadanie 5B

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania z zaworem monostabilnym 5/2, automatycznym powrotem, regulacją prędkości ruchu tłoczyska i kontrolą położenia tłoczyska w skrajnych pozycjach. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworów dławiących wynosi 50%.

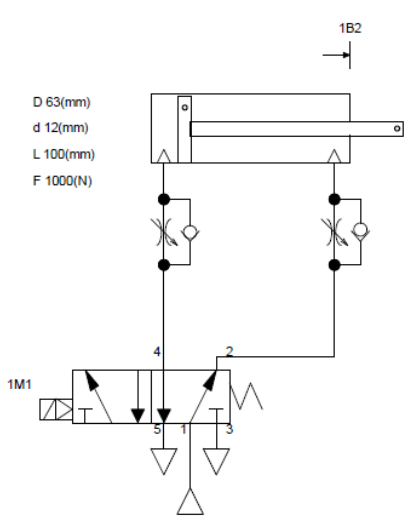
Działanie układu: po naciśnięciu przycisku START nastąpi zapamiętanie stanu przerzutnika WZ i uruchomienie cyklu pracy napędu. Położenie siłownika będzie kontrolowane z wykorzystaniem indukcyjnych czujników zbliżeniowych. Zatrzymanie układu będzie realizowane poprzez naciśnięcie przycisku STOP.

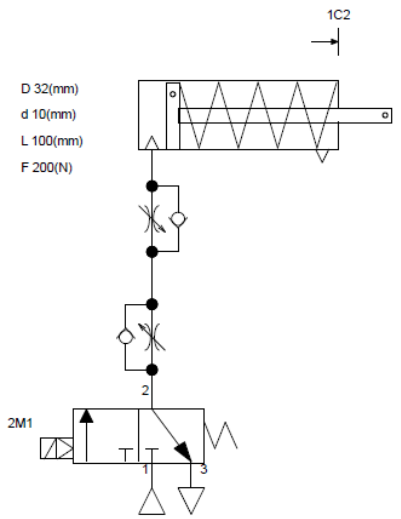
Zadanie 6A

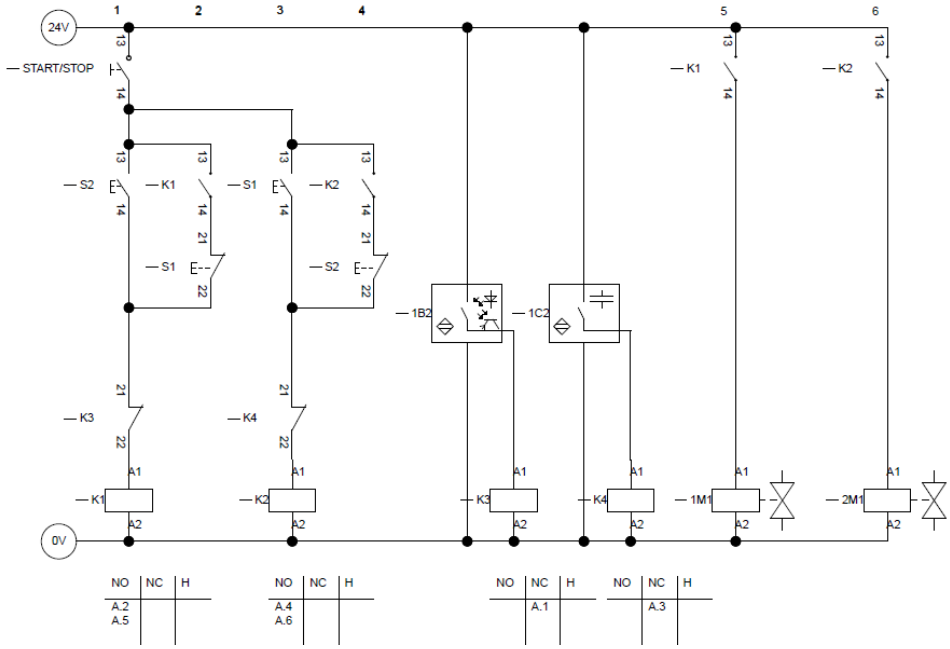
Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania i siłownikiem jednostronnego działania sterowanymi zaworami monostabilnymi z automatycznym powrotem. Ma być zapewniona regulacja prędkości tłoczysk. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworów dławiących wynosi 50%.

Działanie układu:

Po załączeniu przełącznika START/STOP będzie możliwe uruchomienie układu. Wciśnięcie przycisku S1 spowoduje wysuwanie się tłoczyska siłownika jednostronnego działania, a po osiągnięciu pozycji końcowej kontrolowanej przez czujnik pojemnościowy nastąpi jego automatyczny powrót. Wciśnięcie przycisku S2 spowoduje wysuwanie się tłoczyska siłownika dwustronnego działania, a po osiągnięciu pozycji końcowej kontrolowanej przez czujnik optyczny nastąpi jego automatyczny powrót. Jednoczesne naciśnięcie dwóch przycisków spowoduje powrót układu do pozycji początkowej.







Zadanie 6B

Zaprojektować układ sterowania siłownikiem dwustronnego działania i siłownikiem jednostronnego działania sterowanymi zaworami monostabilnymi z automatycznym powrotem. Ma być zapewniona regulacja prędkości tłoczysk. Wartość ciśnienia zasilania wynosi 0,6 [MPa]. Nastaw zaworów dławiących wynosi 50%.

Działanie układu:

Po załączeniu przełącznika START/STOP będzie możliwe uruchomienie układu. Wciśnięcie przycisku S1 spowoduje wysuwanie się tłoczyska siłownika jednostronnego działania. Zwolnienie przycisku spowoduje automatyczny powrót siłownika do pozycji początkowej. Wciśnięcie przycisku S2 spowoduje wysuwanie się tłoczyska siłownika dwustronnego działania. Zwolnienie przycisku spowoduje automatyczny powrót siłownika do pozycji początkowej. Jednoczesne naciśnięcie dwóch przycisków spowoduje powrót układu do pozycji początkowej.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- zdjęcia potwierdzające zbudowanie układu,
- opis działania układu z omówieniem i wnioskami.

Podstawową zaletą sterowania elektropneumatycznego jest szybkość przenoszenia sygnałów na znaczne odległości. Szybkość przesyłu informacji po stronie elektrycznej, w połączeniu z szybkością działania napędu pneumatycznego, umożliwia w praktyce sterowanie procesem produkcyjnym. Przy wyborze rodzaju sterowania, pomiędzy pneumatycznym a elektropneumatycznym, należy uwzględnić następujące czynniki [12]:

- odległość pomiędzy sterowanymi elementami,
- liczbę elementów połączonych ze sobą,
- kombinację połączeń,
- prostotę budowy i konserwacji,
- możliwość programowania,
- koszty inwestycji i eksploatacji.

ROZDZIAŁ 7

Układy sterowania elektropneumatycznego w praktyce

7.1. Elementy elektropneumatycznych układów sterowania wykorzystywane w laboratorium

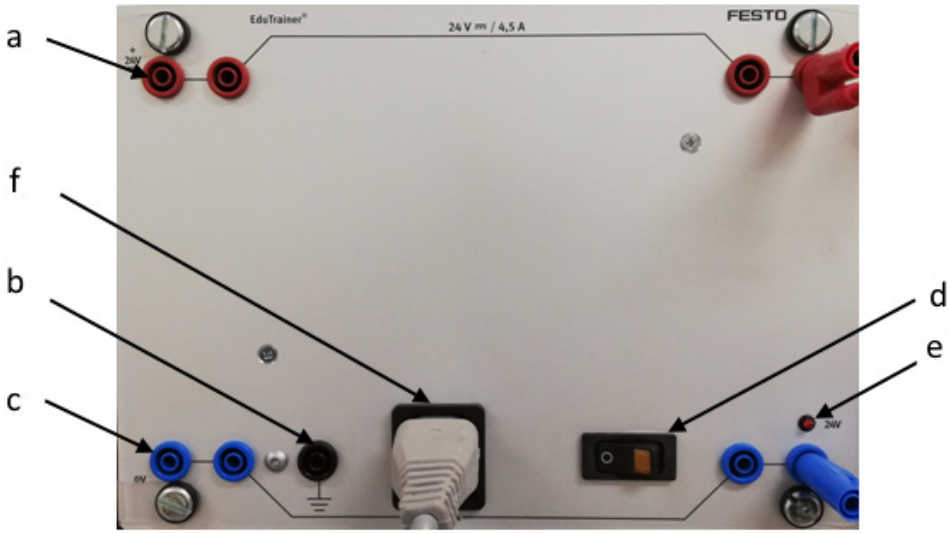
7.1.1. Zasilacz elektryczny

Każdy układ elektropneumatyczny musi być wyposażony w źródło energii elektrycznej. Wartości napięciowe i prądowe zasilacza elektrycznego muszą być dostosowane do parametrów elementów zasilanych. W rozwiązaniach przemysłowych na ogół wykorzystuje się zasilacze 24 V. Zasilacze elektryczne składają się z trzech podstawowych elementów [17]:

- Transformatora, którego zadaniem jest zredukowanie wielkości napięcia do wartości oczekiwanej.
- Prostownika, którego zadaniem jest zmiana napięcia przemiennego na napięcie stałe o oczekiwanej wartości.
- Stabilizatora, którego zadaniem jest utrzymanie stałej wartości napięcia na wyjściu zasilacza.

Na rysunku 7.1 przedstawiono widok zasilacza laboratoryjnego o stałym napięciu wyjściowym 24 V (DC). Na tablicy zasilacza umieszczono następujące elementy przyłączeniowo kontrolne:

a) gniazda napięcia wyjściowego 24 V o dopuszczalnym obciążeniu prądowym 4,5 A,
b) gniazdo uziemienia,
c) gniazda napięcia wyjściowego 0 V,
d) włącznik zasilacza elektrycznego,
e) diodę sygnalizującą działanie zasilacza,
f) gniazdo zasilania zasilacza napięciem 230 V (AC).



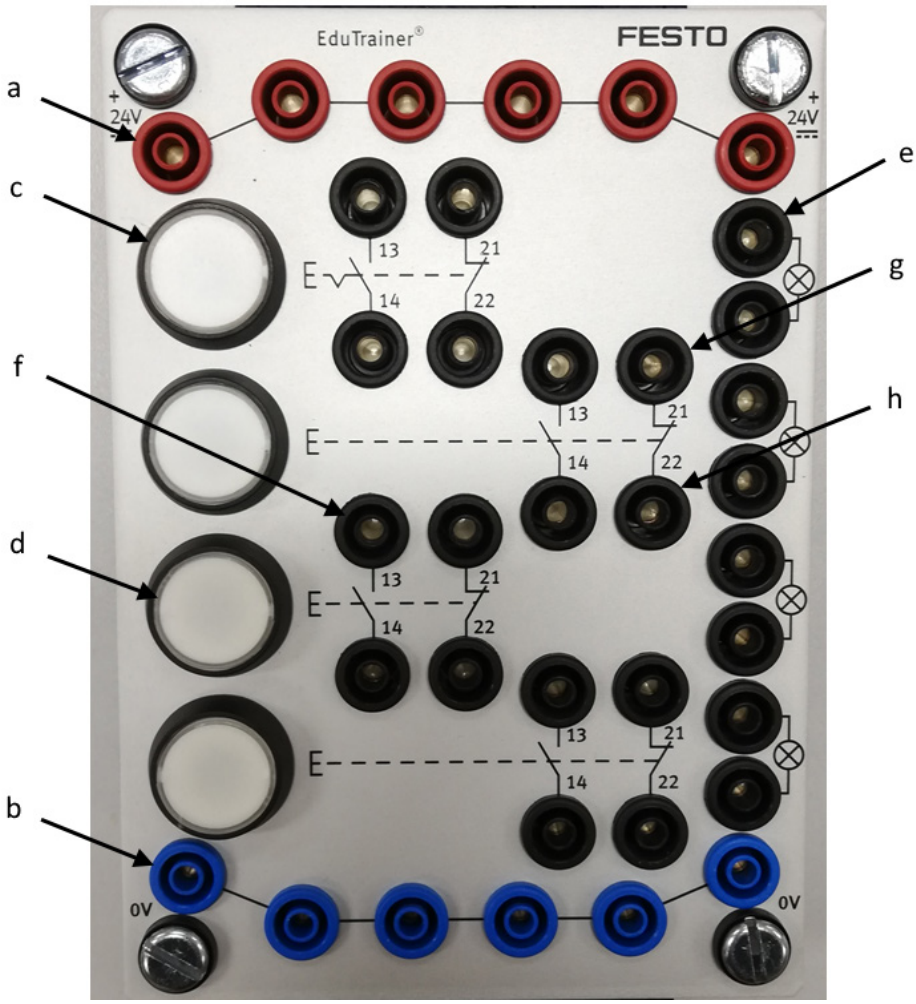
Rys. 7.1. Laboratoryjny zasilacz elektryczny

7.1.2. Zestaw do łączenia sygnałów wejściowych

Urządzenie do łączenia sygnałów wejściowych wyposażone jest w trzy podświetlane przyciski układu sterowania oraz jeden podświetlany przełącznik. Styki, w które wyposażony jest zestaw mogą przyjmować dwa stany: normalnie otwarty i normalnie zamknięty.

Na rysunku 7.2 przedstawiono widok zestawu do łączenia, w który wyposażone jest stanowisko laboratoryjne. Na tablicy zestawu znajdują się następujące elementy:

a) gniazda zasilania urządzenia do łączenia sygnałów wejściowych 24 V (DC),
b) gniazda zasilania urządzenia do łączenia sygnałów wejściowych 0 V,
c) przełącznik,
d) przyciski,
e) przyłącza podświetlenia przycisków,
f) gniazda wejść styków normalnie otwartych,
g) gniazda wejść styków normalnie zamkniętych,
h) gniazda wyjść styków.



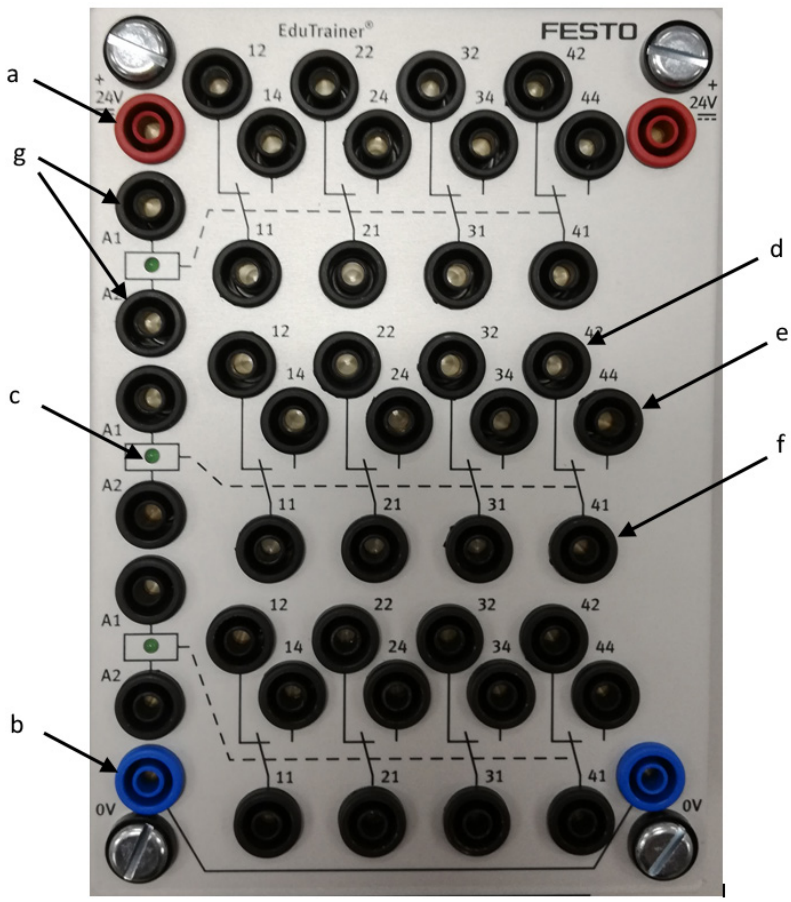
Rys. 7.2. Laboratoryjny zestaw do łączenia sygnałów wejściowych

7.1.3. Zestaw przekaźników elektrycznych

Wykorzystując przekaźniki, można zrealizować część wyjściową układu sterowania elektropneumatycznego. Obecnie nie są one powszechnie stosowane z uwagi na zastąpienie ich swobodnie programowalnymi sterownikami logicznymi PLC. Jednak również w nowoczesnych układach sterowania są one wykorzystywane np. w układach bezpieczeństwa. Układy przekaźnikowe charakteryzują się przejrzystą i czytelną zasadą działania. Budowę przekaźnika omówiono w rozdziale 6, a jego konstrukcję przedstawiono na rysunku 6.4.

Na rysunku 7.3 przedstawiono widok zestawu przekaźników, w który wyposażone jest stanowisko laboratoryjne. Na tablicy zestawu znajdują się następujące elementy:

a) gniazda zasilania urządzenia do łączenia sygnałów wejściowych 24 V (DC),
b) gniazda zasilania urządzenia do łączenia sygnałów wejściowych 0 V,
c) diody sygnalizujące działanie przekaźnika,
d) gniazdo wejściowe przełącznika przełączającego w stanie normalnie zamkniętym,
e) gniazdo wejściowe przełącznika przełączającego w stanie normalnie otwartym,
f) gniazdo wyjściowe przełącznika przełączającego,
g) przyłącza zasilające cewkę przekaźnika.



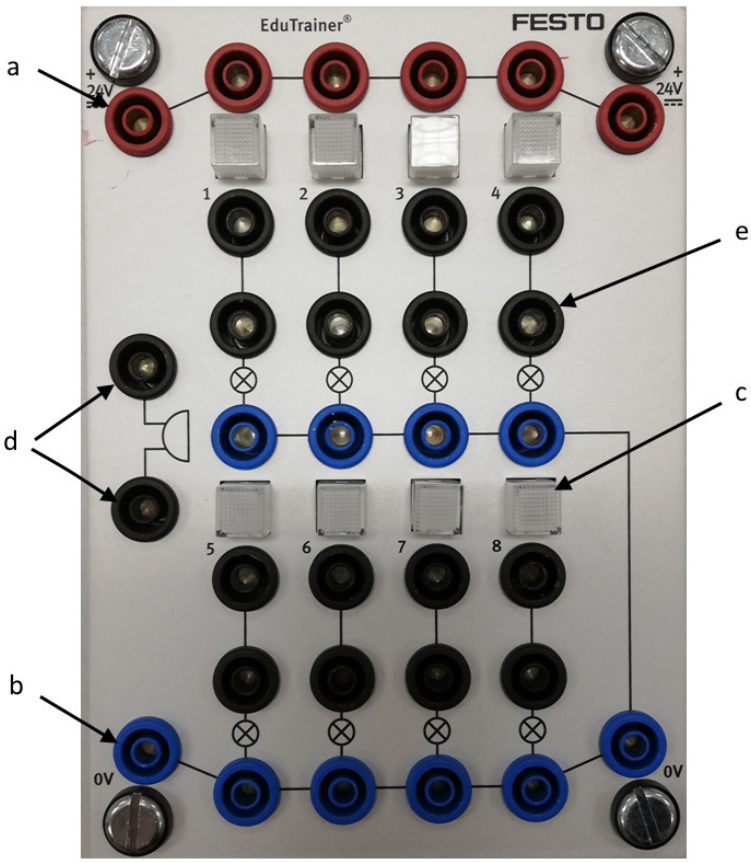
Rys. 7.3. Laboratoryjny zestaw przekaźników

7.1.3. Zestaw wskaźników

Wskaźnik połączeń jest urządzeniem zawierającym pozwalającym na realizację sygnalizacji na dwa sposoby: jako wskaźnik świetlny i sygnalizator akustyczny.

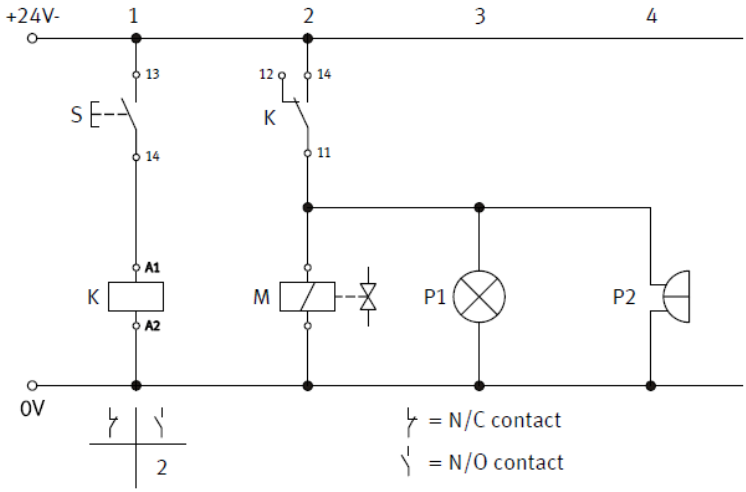
Na rysunku 7.4 przedstawiono widok zestawu przekaźników, w który wyposażone jest stanowisko laboratoryjne. Na tablicy zestawu znajdują się następujące elementy:

a) gniazda zasilania urządzenia do łączenia sygnałów wejściowych 24 V (DC),
b) gniazda zasilania urządzenia do łączenia sygnałów wejściowych 0 V,
c) wskaźniki świetlne,
d) gniazda do podłączenia sygnalizatora akustycznego,
e) gniazda do podłączenia wskaźnika świetlnego.



Rys. 7.4. Laboratoryjny zestaw wskaźników

Na rysunku 7.5 przedstawiono przykładowy schemat połączenia elementów sygnalizacyjnych wchodzących w skład zestawu.

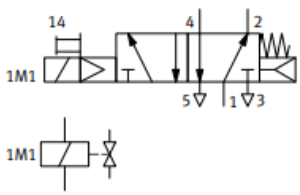


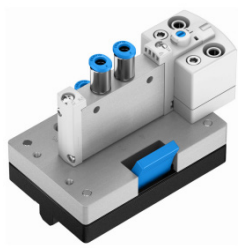
Rys. 7.5. Przykładowy schemat podłączenia elementów sygnalizacyjnych

7.2. Elementy elektropneumatyczne wykorzystywane w ćwiczeniu

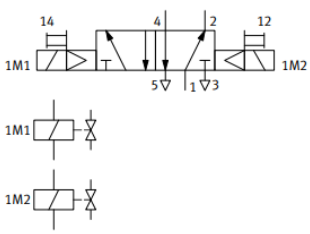
W trakcie realizacji ćwiczenia można wykorzystać następujące elementy elektropneumatyczne:

Elektrozawór 5/2 monostabilny (567199)

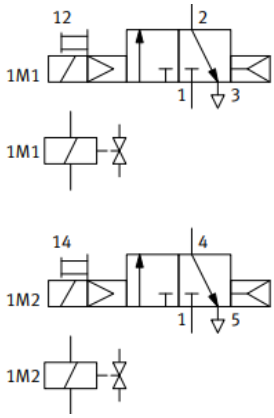


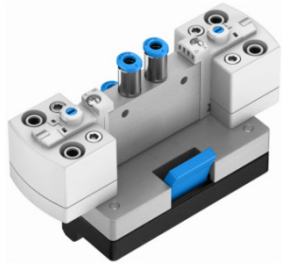


Elektrozawór 5/2 bistabilny (567200)

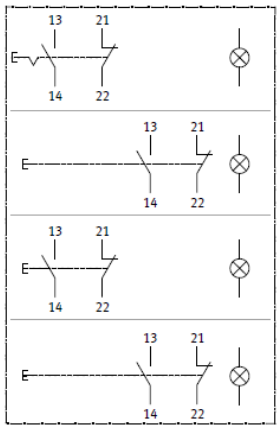


Elektrozawór 2 x 3/2 monostabilny, NO (567198)

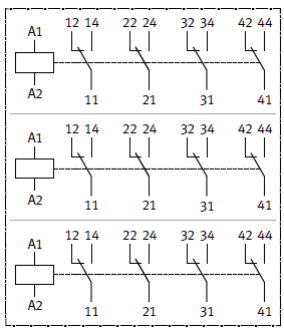




Wejście sygnału elektrycznego (162242)

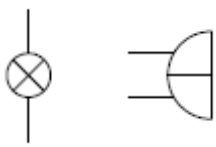


Przekaźnik, potrójny (162241)



Urządzenie sygnalizacyjne

(162244)



Z dokumentacją techniczną wymienionych elementów można się zapoznać, korzystając ze strony internetowej: https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/doc/

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności praktycznych stosowania podstawowych układów sterowania elektropneumatycznego.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

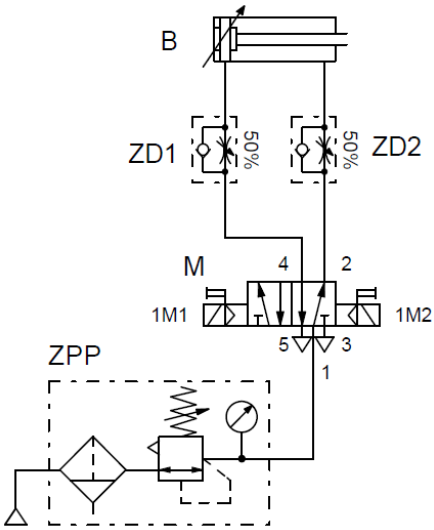
W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z pakietu szkoleniowego z zakresu elektropneumatyki.

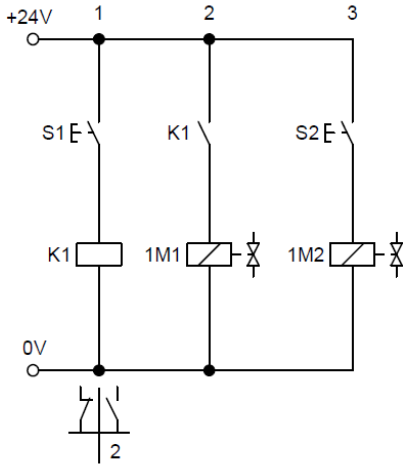
Treść zadania

1) Zaprojektować wirtualny układ sterowania zgodnie ze schematem dla wskazanego zadania, a następnie przeprowadzić symulację działania układu.
2) Zbudować zsyntezowany i zweryfikowany komputerowo elektropneumatyczny układ sterowania na tablicy montażowej, przez wykonanie fizycznych połączeń elementów na stanowisku laboratoryjnym.
   W tym celu należy:
   - Umieścić elementy pneumatyczne, elektryczne i elektropneumatyczne na płycie montażowej stanowiska laboratoryjnego.
   - Wykonać połączenie elementów znajdujących się na płycie, według schematu układu dla wskazanego zadania.
   - Na stacji przygotowania powietrza (ZPP) należy ustawić ciśnienie 4 [bar]. Zawór dławiący (ZD) należy wyregulować na 50% przepływu,
   - przeprowadzić próbę działania układu sterowania.
3) W oparciu o przeprowadzone doświadczenie należy opisać sposób działania układu i sformułować wnioski.

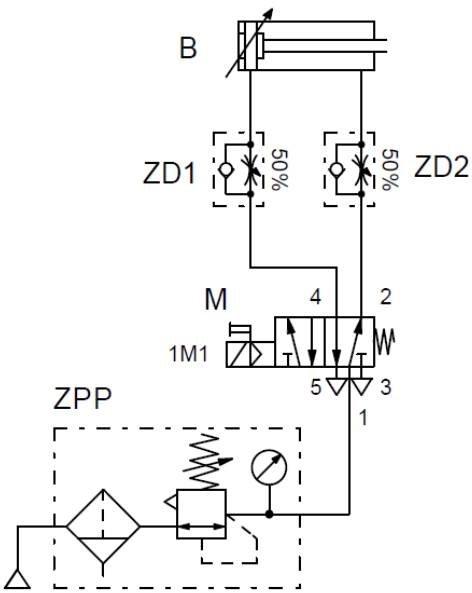
Do wyboru przez prowadzącego:

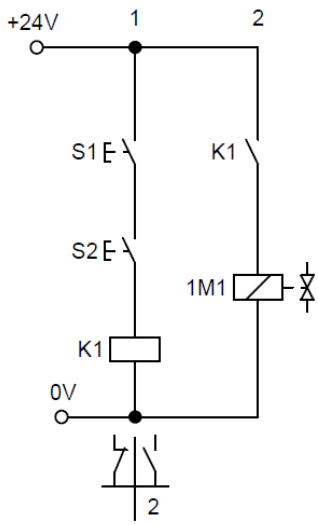
Zadanie 1



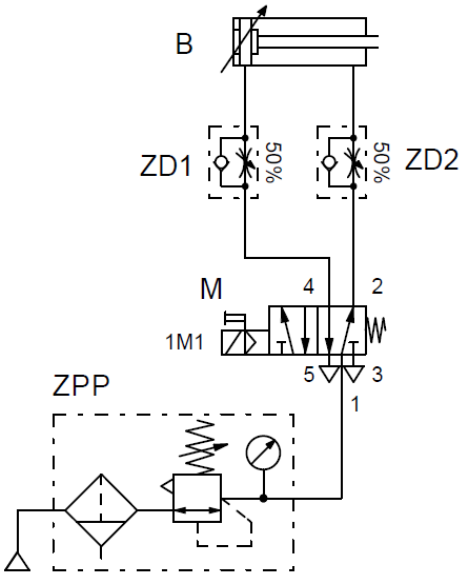


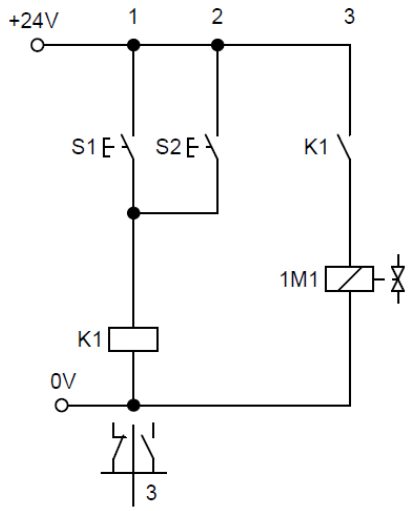
Zadanie 2



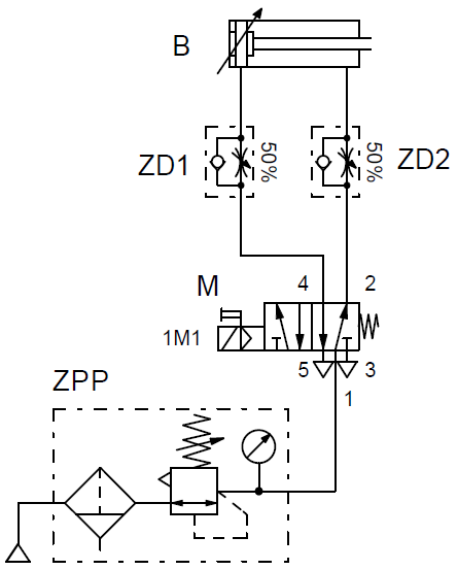


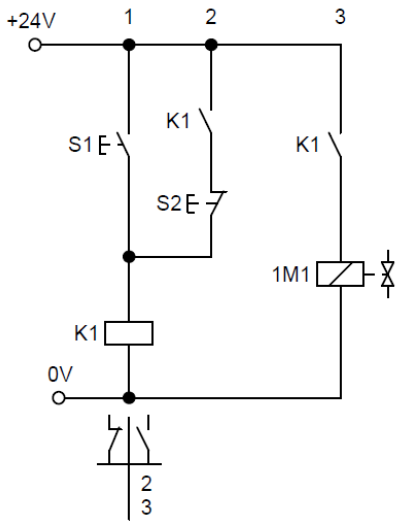
Zadanie 3



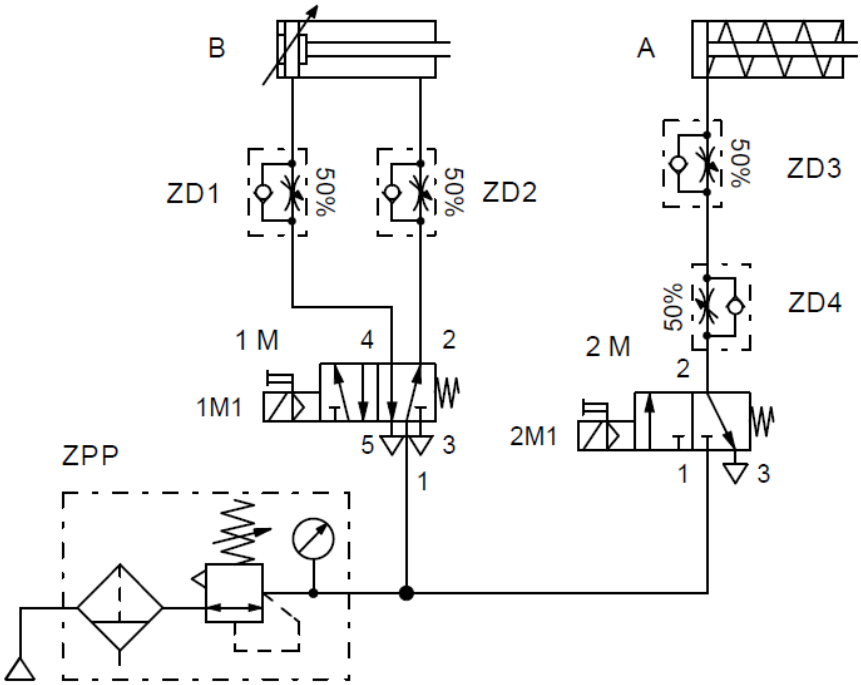


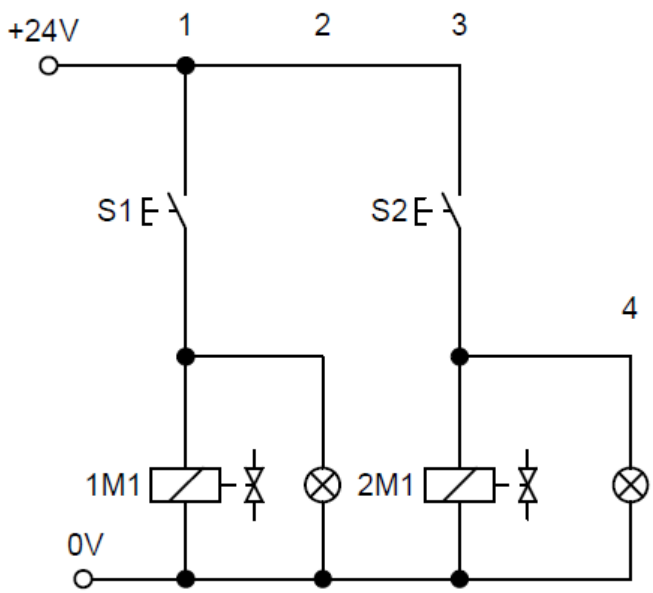
Zadanie 4



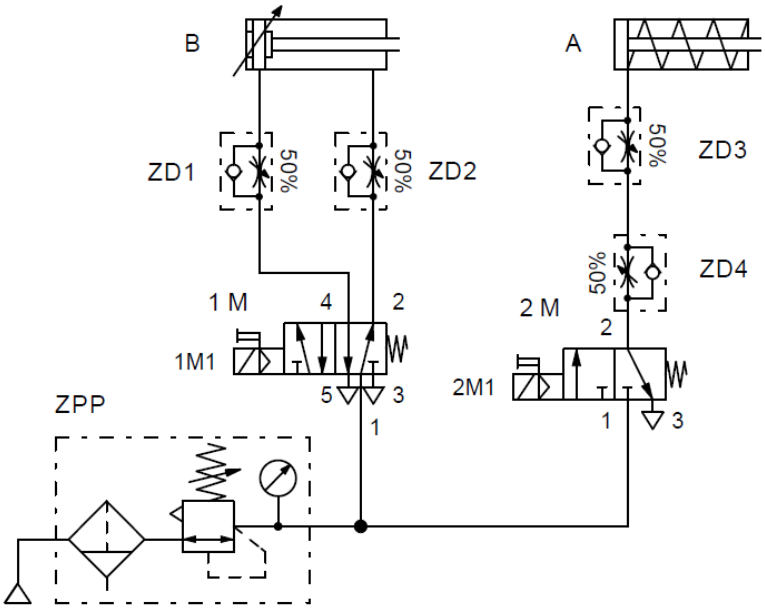


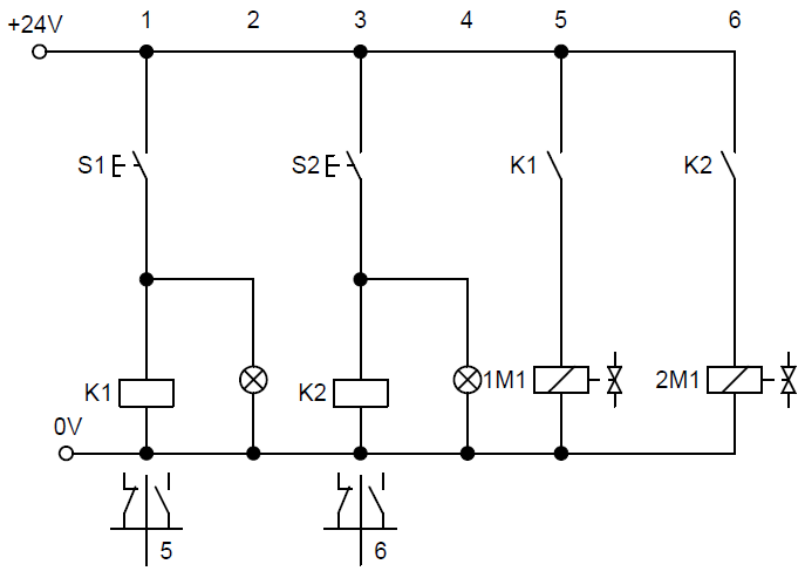
Zadanie 5


B
A
ZD1
50%
50%
ZD2
50%
ZD3
50%
ZD4
1 M
4
2
2 M
2
1M1
5
3
2M1
1
3
1
ZPP


+24V
1
2
3
S1
S2
4
1M1
2M1
0V

Zadanie 6





Sprawozdanie powinno zawierać:

- zdjęcia potwierdzające zbudowanie układu,
- opis działania układu z omówieniem i wnioskami.

ROZDZIAŁ 8

Wykorzystanie czujników w układach sterowania

W zautomatyzowanych liniach produkcyjnych bardzo często wykorzystywane są elementy pneumatyczne. Ich skuteczne działanie uzależnione jest jednak od możliwości użycia elementów elektrycznych i elektronicznych. Do tych elementów należą czujniki wykorzystywane do określenia pozycji pracy napędu lub elementów wykonawczych w urządzeniu.

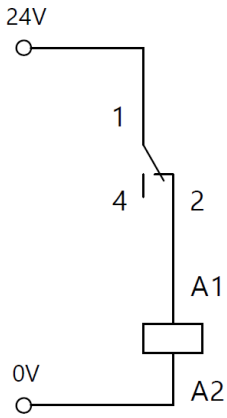
Do podstawowych typów czujników używanych w budowie układów pneumatycznych należą:

- łączniki krańcowe,
- czujniki magnetyczne,
- indukcyjne czujniki zbliżeniowe,
- pojemnościowe czujniki zbliżeniowe,
- optyczne czujniki zbliżeniowe,
- czujniki ciśnienia.

8.1. Czujniki w układach pneumatycznych

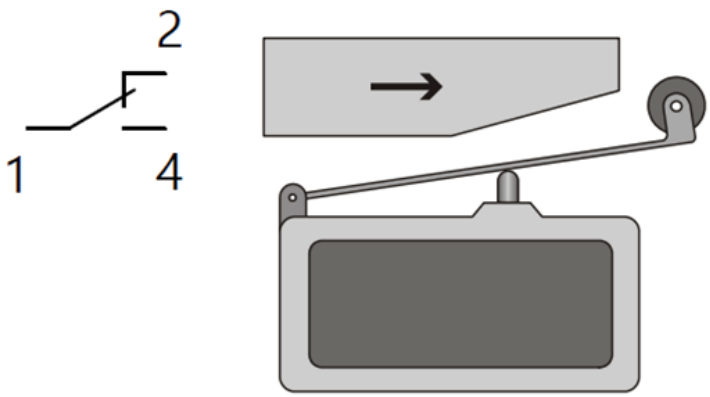
8.1.1. Elektryczny łącznik krańcowy

Elektryczny łącznik krańcowy to element, który zawiera styk. Styk ten może działać jako normalnie zamknięty lub normalnie otwarty. Na rysunku 8.1 przedstawiono schemat sposobu podłączenia łącznika w instalacji elektrycznej.



Rys. 8.1. Schemat podłączenia łącznika krańcowego w instalacji elektrycznej

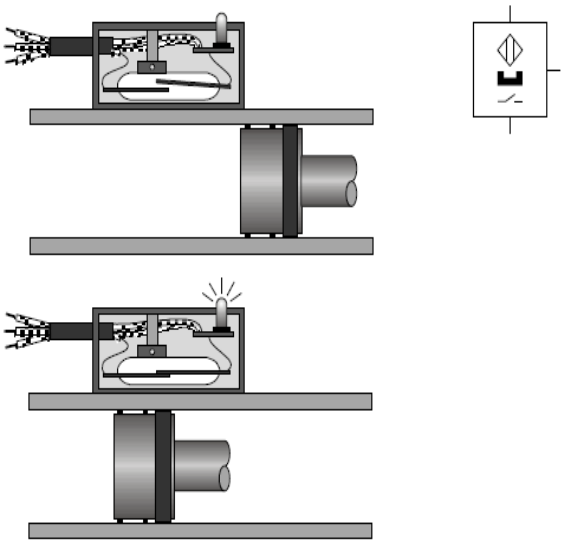
Kiedy dźwignia łącznika krańcowego jest naciśnięta, wówczas uruchamiany jest mikrowłącznik. Wtedy obwód jest zamknięty lub otwarty. Do obwodu elektrycznego może być on podłączony jako normalnie otwarty, normalnie zamknięty lub jako styk przełączający (rys. 8.2).



Rys. 8.2. Elektryczny łącznik krańcowy [9]

8.1.2. Czujnik magnetyczny

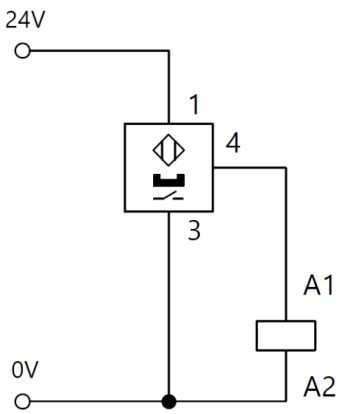
Kontaktron to czujnik zbliżeniowy uruchamiany magnetycznie. Składa się z dwóch styków kontaktowych o małym rozmiarze umieszczonych w szklanej rurce wypełnionej gazem ochronnym. Zewnętrzne działanie magnesu powoduje połączenie styków, co umożliwia przepływ prądu przez obwód (rys. 8.3).



Rys. 8.3. Schemat ideowy działania czujnika magnetycznego [9]

W przypadku czujników pracujących jako NC (normalnie zamknięty) styki są wstępnie połączone za pomocą małego magnesu. Takie połączenie daje pewność przewodzenia styku, którego rozłączenie jest realizowane przy wykorzystaniu znacznie silniejszego magnesu. Kontaktrony charakteryzują się długą żywotnością i krótkim czasem przełączania (ok. 0,2 ms). Nie wymagają obsługi, przy czym nie mogą być stosowane w obszarach o silnym polu magnetycznym.

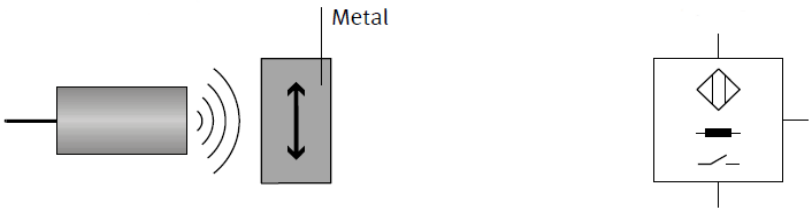
Na rysunku 8.4 przedstawiono sposób podłączenia czujnika magnetycznego w obwodzie.



Rys. 8.4. Schemat podłączenia czujnika magnetycznego w instalacji elektrycznej

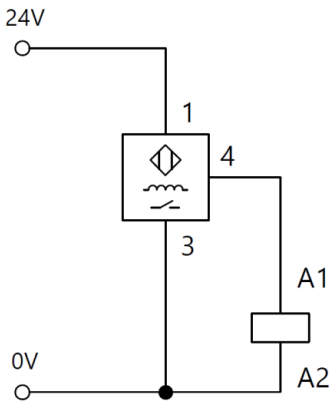
8.1.3. Indukcyjny czujnik zbliżeniowy

Indukcyjny czujnik zbliżeniowy składa się z elektronicznego układu rezonansowego, przetwornika oraz wzmacniacza. Podczas gdy czujnik jest zasilany, obwód rezonansowy wytwarza wysokoczęstotliwościowe, zmienne pole magnetyczne, które emitowane jest przez powierzchnię czynną czujnika (rys. 8.5).



Rys. 8.5. Schemat działania i symbol indukcyjnego czujnika zbliżeniowego

Czujnik wykrywa wyłącznie obecność obiektów przewodzących prąd elektryczny. Na rysunku 8.6 przedstawiono sposób podłączenia czujnika indukcyjnego w obwodzie elektrycznym.



Rys. 8.6. Schemat podłączenia czujnika indukcyjnego w instalacji elektrycznej

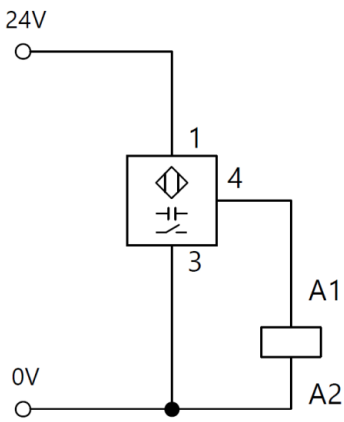
8.1.4. Pojemnościowy czujnik zbliżeniowy

Pojemnościowy czujnik zbliżeniowy składa się z rezystora i kondensatora elektrycznego. Te dwa komponenty tworzą wspólnie obwód rezonansowy typu RC. W skład czujnika wchodzi też układ elektroniczny

mierzący drgania w obwodzie elektrycznym. Pomiędzy elektrodą czynną a elektrodą masową kondensatora generowane jest pole elektrostatyczne. Na powierzchni czołowej czujnika tworzy się pole rozproszone. Kiedy obiekt zostanie wprowadzony w to pole, zmienia się pojemność kondensatora (rys. 8.7), co powoduje tłumienie obwodu rezonansowego. Znajdująca się w czujniku jednostka elektroniczna wykrywa zmianę częstotliwości i wysterowuje wyjście czujnika.

Rys. 8.7. Schemat działania i symbol pojemnościowego czujnika zbliżeniowego

Czujnik pojemnościowy wykrywa obecność przedmiotów nie tylko o dużej przewodności elektrycznej, ale również wykrywa izolatory o dużym współczynniku dielektrycznym (np. szkło, tworzywa sztuczne, ceramikę, drewno, ciecze). Na rysunku 8.8 przedstawiono sposób podłączenia czujnika pojemnościowego w obwodzie.



Rys. 8.8. Schemat podłączenia czujnika pojemnościowego w instalacji elektrycznej

8.1.5. Optyczny czujnik zbliżeniowy

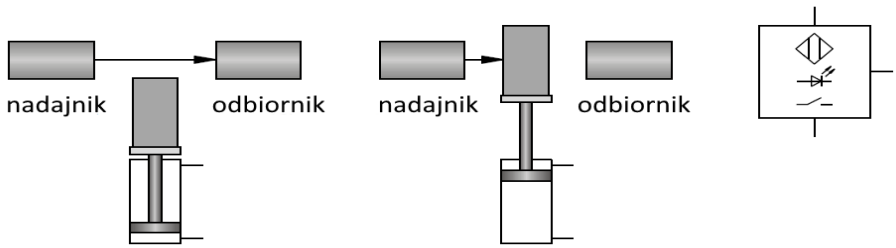
Optyczny czujnik zbliżeniowy jest wyposażony w nadajnik i odbiornik. Czujnik ten jako nośnik informacji wykorzystuje światło optyczne oraz komponenty i moduły elektroniczne do wykrywania obiektu znajdującego

się pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Szczególnie niezawodnymi nadajnikami światła czerwonego i podczerwonego są półprzewodnikowe diody elektroluminescencyjne (LED). Światło czerwone ma tę zaletę, że można je zobaczyć gołym okiem podczas ustawiania osi optycznych czujników zbliżeniowych. Czujnik wyposażony jest w fotodiodę lub fototranzystor, który pełni rolę odbiornika.

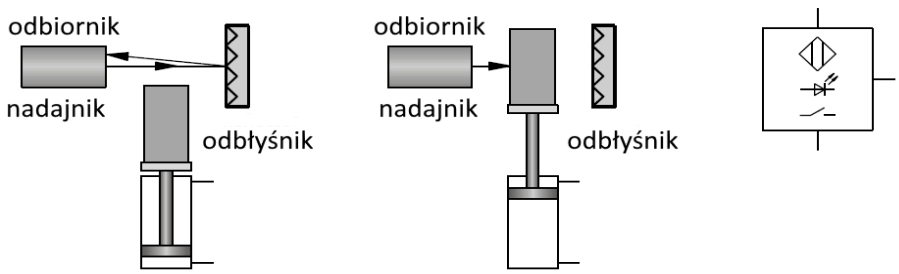
Rozróżnia się trzy typy optycznych czujników zbliżeniowych:

- czujniki bramkowe,
- czujniki odbiciowe,
- czujniki dyfuzyjne.

Czujniki bramkowe mają oddzielony nadajnik od odbiornika. Elementy te muszą być zamontowane w taki sposób, aby wiązka światła emitowana przez nadajnik trafiała w odbiornik (rys. 8.9). Jeśli kontrolowany obiekt znajdzie się na drodze pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem, wiązka światła zostaje przerwana i zostaje wygenerowany sygnał inicjujący operację przełączania stanów wyjścia czujnika.



Rys. 8.9. Schemat działania i symbol optycznego czujnika bramkowego

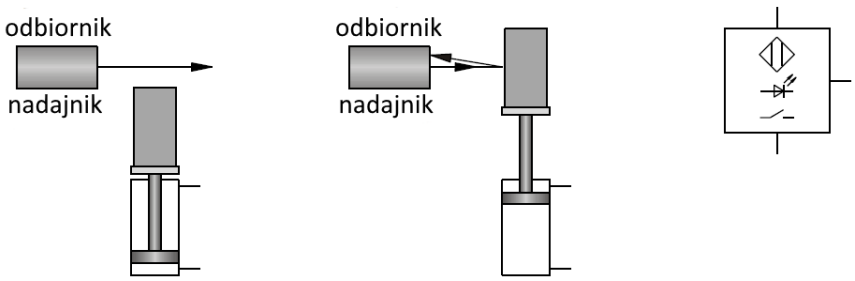


Rys. 8.10. Schemat działania i symbol optycznego czujnika odbiciowego

W czujnikach odbiciowych nadajnik i odbiornik są umieszczone obok siebie w obudowie. Odbłyśnik odbija wiązkę światła od nadajnika

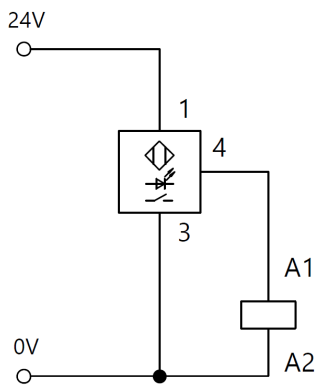
do odbiornika. Czujnik montowany jest w taki sposób, że strumień światła emitowany przez nadajnik po odbiciu od odbłyśnika trafia w odbiornik (rys. 8.10). Jeśli kontrolowany obiekt znajdzie się pomiędzy nadajnikiem a odbłyśnikiem wiązka światła zostaje przerwana i zostaje wygenerowany sygnał inicjujący operację przełączania stanów wyjścia czujnika.

Nadajnik i odbiornik w czujnikach dyfuzyjnych są umieszczone obok siebie w obudowie. W przeciwieństwie do czujnika odbiciowego, czujnik dyfuzyjny nie posiada własnego odbłyśnika. Zamiast tego wykorzystuje właściwości odbiciowe obiektu, który znajduje się w zasięgu transmisji. Jeśli światło zostanie odbite od obiektu, to powracający strumień jest kierowany do odbiornika i następuje przełączenie wyjścia czujnika (rys. 8.11). Ten typ czujnika nadaje się szczególnie do detekcji obiektów o małym współczynniku absorpcji światła.



Rys. 8.11. Schemat działania i symbol optycznego czujnika dyfuzyjnego

Na rysunku 8.12 przedstawiono sposób podłączenia czujnika optycznego w obwodzie.



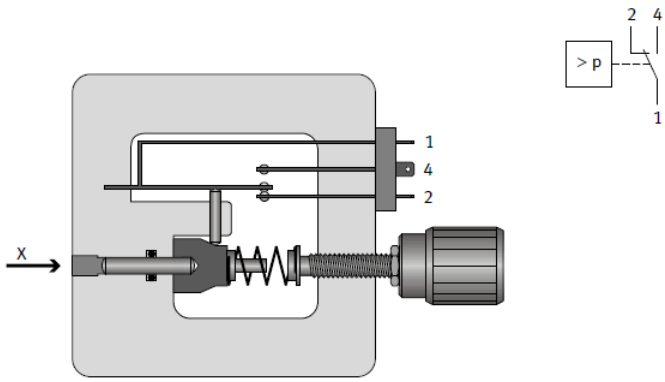
Rys. 8.12. Schemat podłączenia czujnika optycznego w instalacji elektrycznej

8.1.5. Czujnik ciśnienia

Czujniki ciśnienia powietrza są dostępne w różnych wersjach:

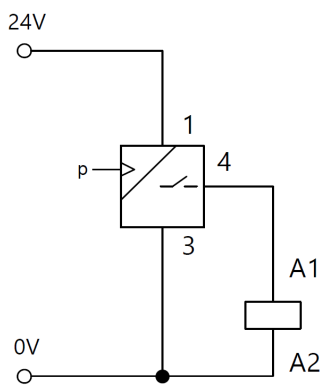
- mechaniczny z binarnym sygnałem wyjściowym,
- elektroniczny z binarnym sygnałem wyjściowym,
- elektroniczny z cyfrowym sygnałem wyjściowym,
- elektroniczny z analogowym sygnałem wyjściowym.

Działanie mechanicznego czujnika ciśnienia opiera się na określeniu wartości siły działającej na tłok czujnika. W przypadku przekroczenia wartości siły nastawionej wywoływanej siłą sprężyny tłok przemieści się i przełączy mechanizm stykowy czujnika (rys. 8.13).



Rys. 8.13. Schemat działania i symbol mechanicznego czujnika ciśnienia

Na rysunku 8.14 przedstawiono sposób podłączenia czujnika ciśnienia w obwodzie.



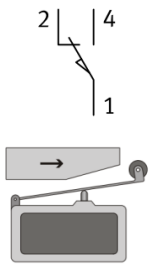
Rys. 8.14. Schemat podłączenia czujnika ciśnienia w instalacji elektrycznej

Przykładem elektronicznych przełączników ciśnienia z binarnym sygnałem wyjściowym jest membranowy przełącznik który przełącza elektronicznie wyjście realizowane poprzez przekaźnik. W czujniku elektronicznym czujnik siły jest przymocowany do membrany. Wskazanie czujnika jest analizowane przez układ elektroniczny, którego zadaniem jest wysterowanie wyjścia czujnika.

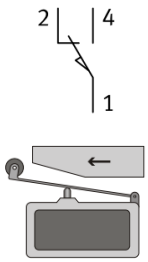
8.2. Elementy wykorzystywane w ćwiczeniu z grupy czujników

W trakcie realizacji ćwiczenia na stanowisku będą dostępne następujące elementy z grupy czujników:

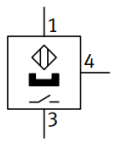
Elektryczny łącznik krańcowy, uruchamiany z lewej strony (183322)



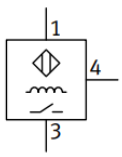
Elektryczny łącznik krańcowy, uruchamiany z prawej strony (183345)



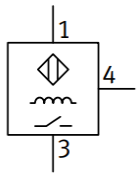
Czujnik magnetorezystywny (566199)



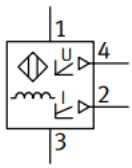
Czujnik indukcyjny, M12 (548643)



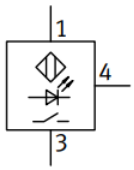
Czujnik indukcyjny, M18
(548645)



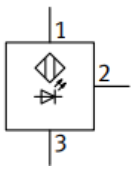
Czujnik indukcyjny,
analogowy, M12
(548644)



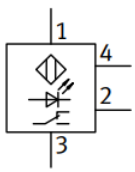
Jednokierunkowa zapora
świetlna, odbiornik
(548647)



Jednokierunkowa zapora
świetlna, nadajnik
(548648)

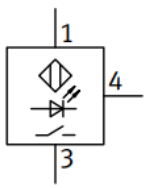


Czujnik światłowodowy
(548655)



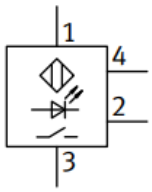
Światłowód
(548659)

Czujnik odbiciowy
(refleksyjny)
(548649)

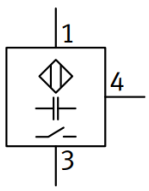


Odbłyśnik (reflektor), 20 mm
(548650)

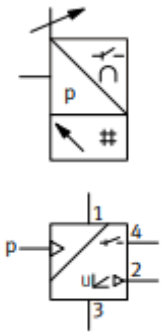
Czujnik fotoelektryczny
dyfuzyjny z tłumieniem tła
(548656)



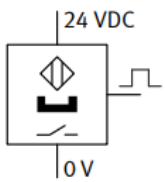
Czujnik pojemnościowy, M12
(548651)



Czujnik ciśnienia ze
wskaźnikiem
(572745)



Czujnik kontaktronowy
z mocowaniem na siłownik
(2344752)



Z dokumentacją techniczną wymienionych elementów można się zapoznać, korzystając ze strony internetowej: https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/doc/

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności praktycznych stosowania czujników w podstawowych układach sterowania elektropneumatycznego.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z pakietu szkoleniowego z zakresu czujników i elektropneumatyki.

Treść zadania

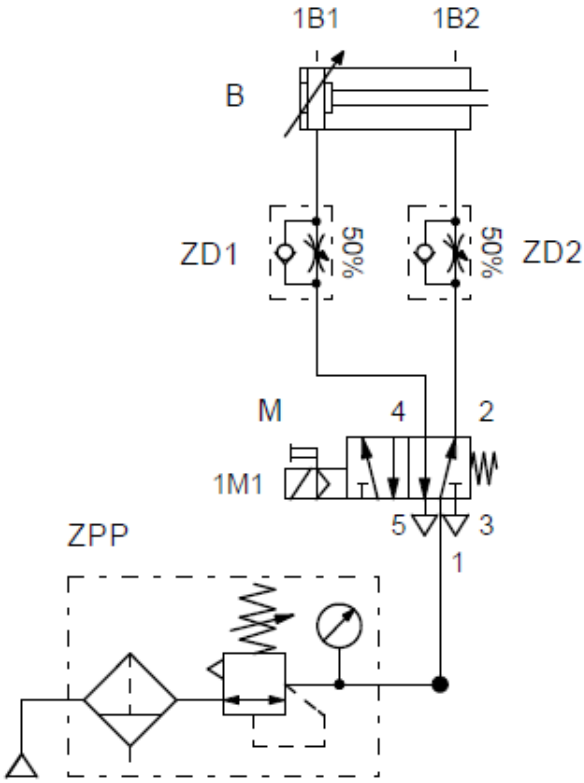
1) Zaprojektować wirtualny układ sterowania zgodnie ze schematem dla wskazanego zadania, a następnie przeprowadzić symulację działania układu.
2) Zbudować zsyntezowany i zweryfikowany komputerowo elektropneumatyczny układ sterowania na tablicy montażowej, przez wykonanie fizycznych połączeń elementów na stanowisku laboratoryjnym.

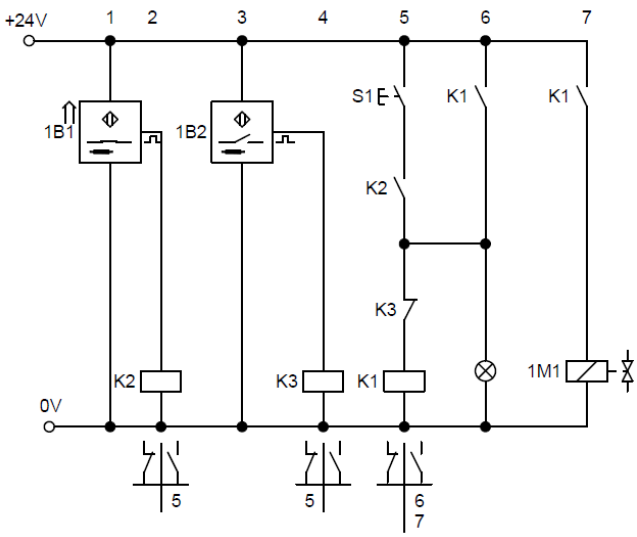
W tym celu należy:

- Umieścić elementy pneumatyczne, elektryczne i elektropneumatyczne na płycie montażowej stanowiska laboratoryjnego.
- Wykonać połączenie elementów znajdujących się na płycie, według schematu układu dla wskazanego zadania.
- Na stacji przygotowania powietrza (ZPP) ustawić ciśnienie 4 [bar]. Zawór dławiący (ZD) należy wyregulować na 50% przepływu.
- Przeprowadzić próbę działania układu sterowania.
- W oparciu o przeprowadzoną symulację należy opisać sposób działania układu i sformułować wnioski.

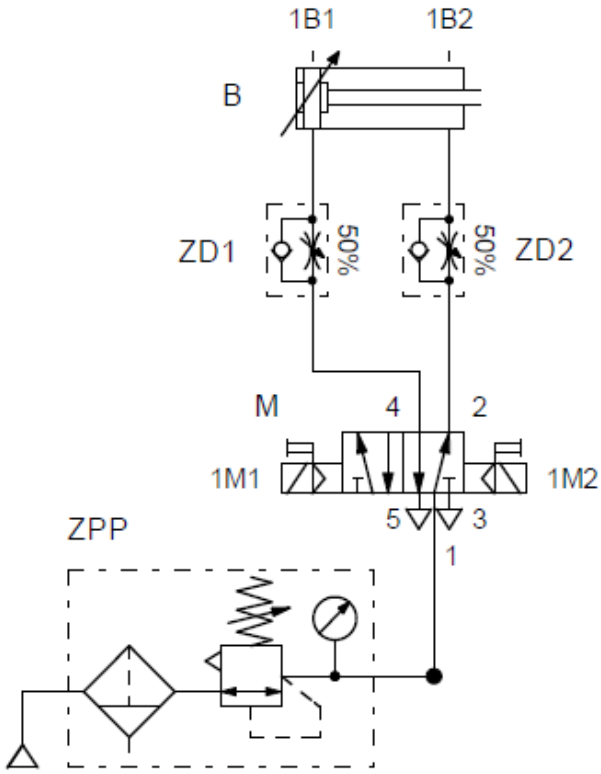
Do wyboru przez prowadzącego:

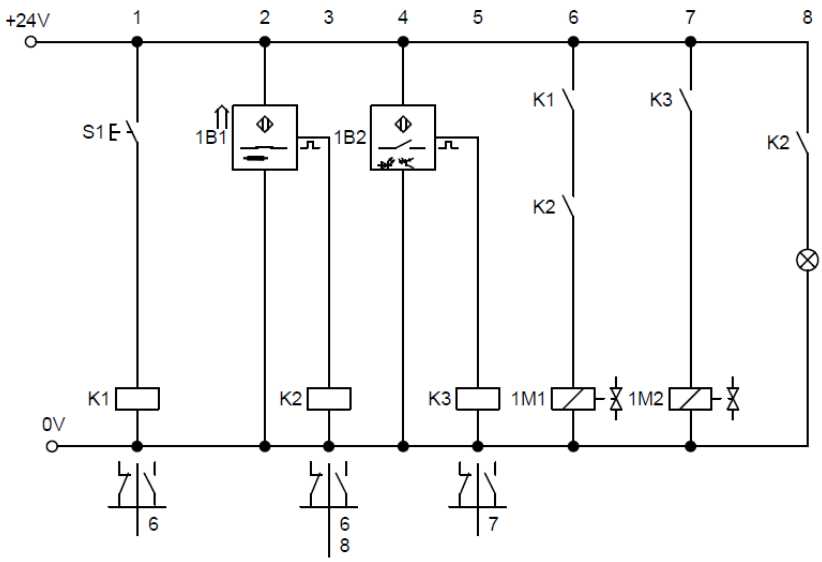
Zadanie 1



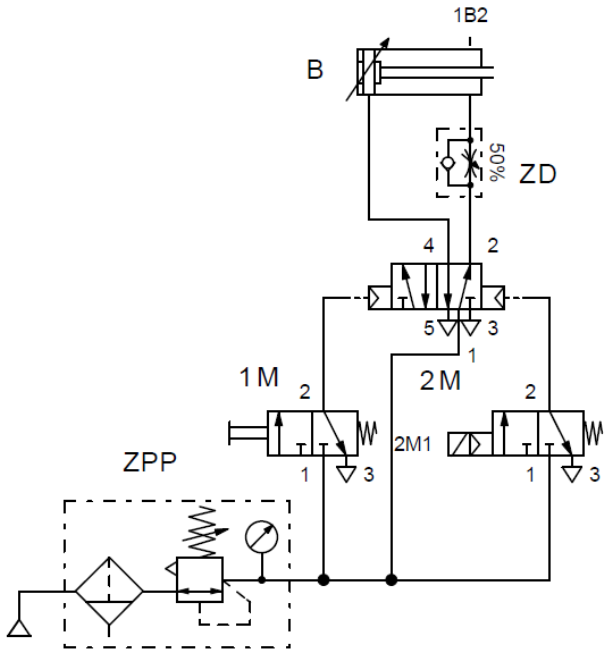


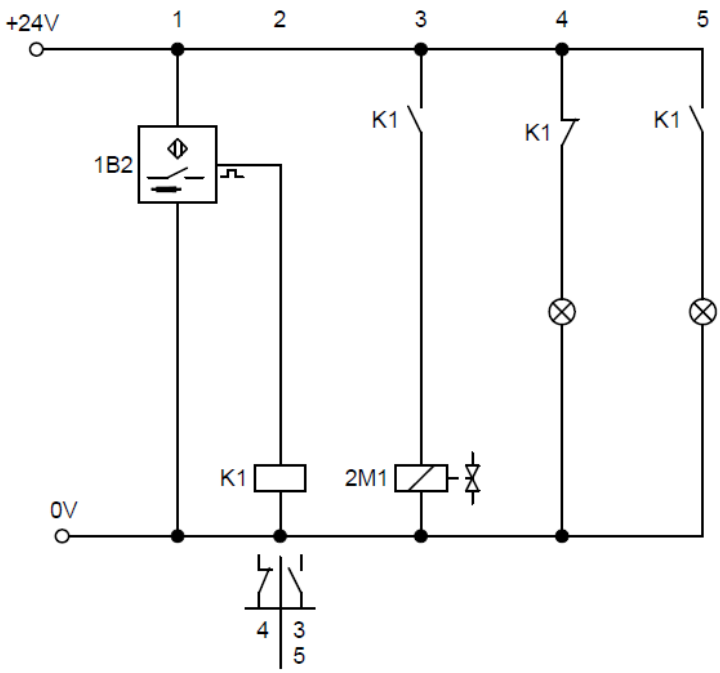
Zadanie 2


1B1
1B2
B
ZD1
50%
50%
ZD2
M
4
2
1M1
1M2
5
3
1
ZPP

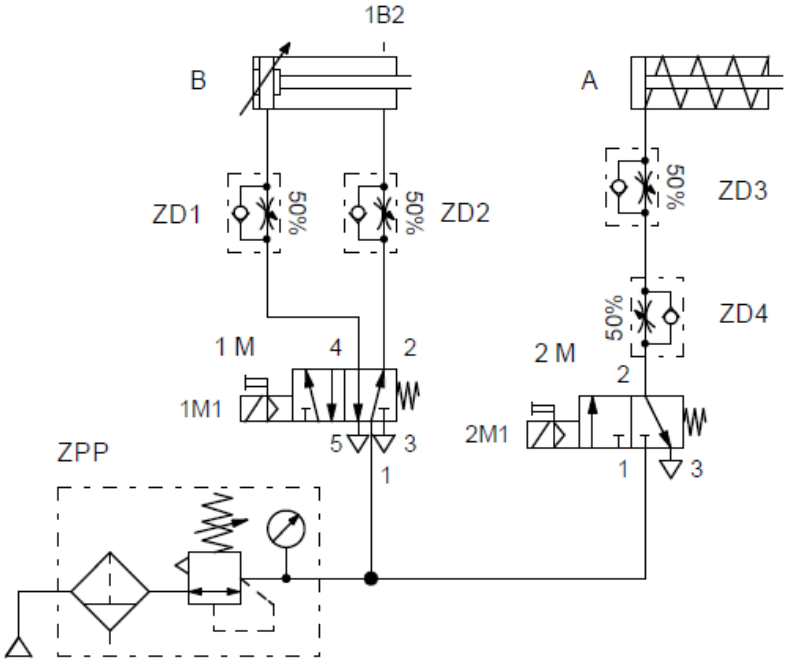

+24V
1
2
3
4
5
6
7
8
S1
1B1
1B2
K1
K2
K3
K2
K1
K2
K3
1M1
1M2
0V
6
6
8
7

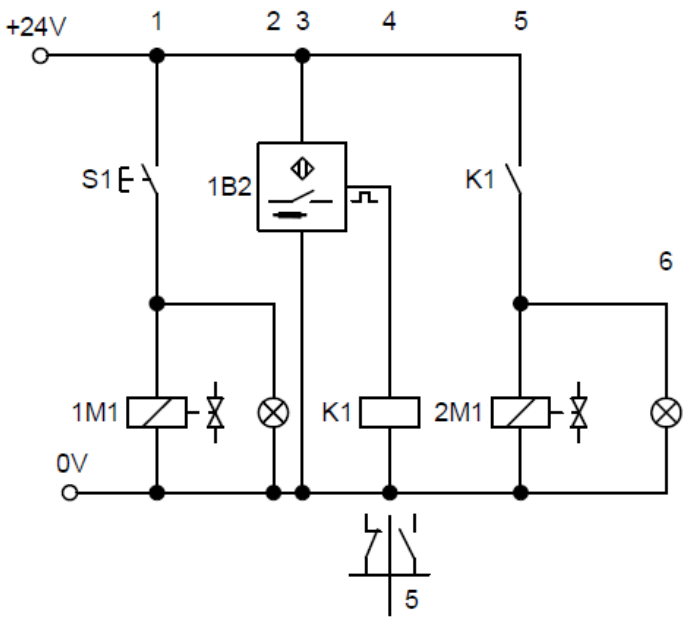
Zadanie 3


1B2
B
50%
ZD
4
2
5
3
1
1M
2
2M
2
2M1
ZPP
1
3
1
3

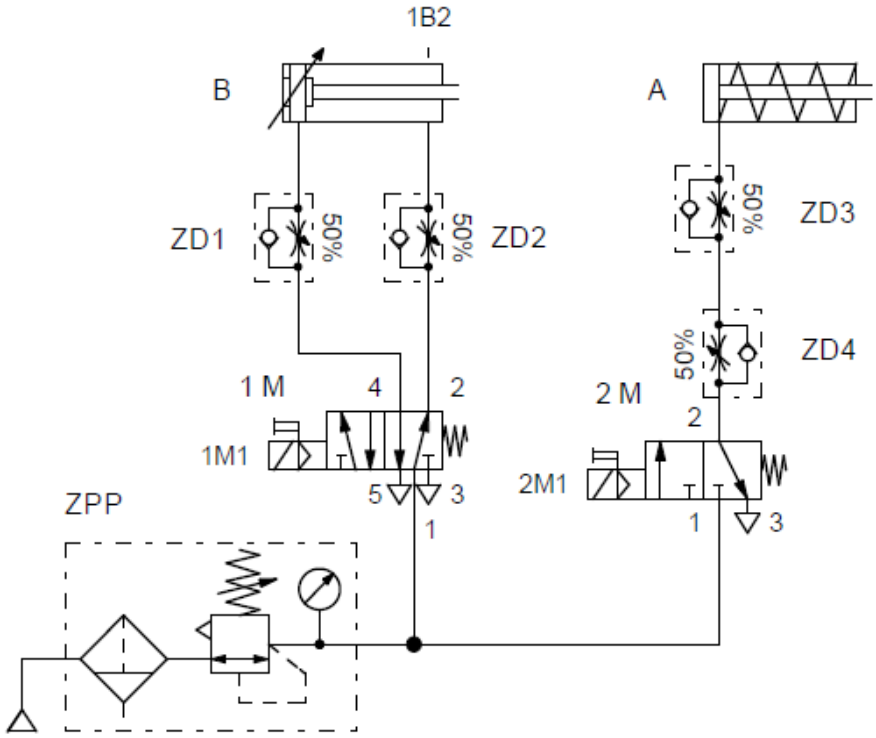

+24V
1
2
3
4
5
K1
K1
K1
1B2
K1
2M1
0V
4
3
5

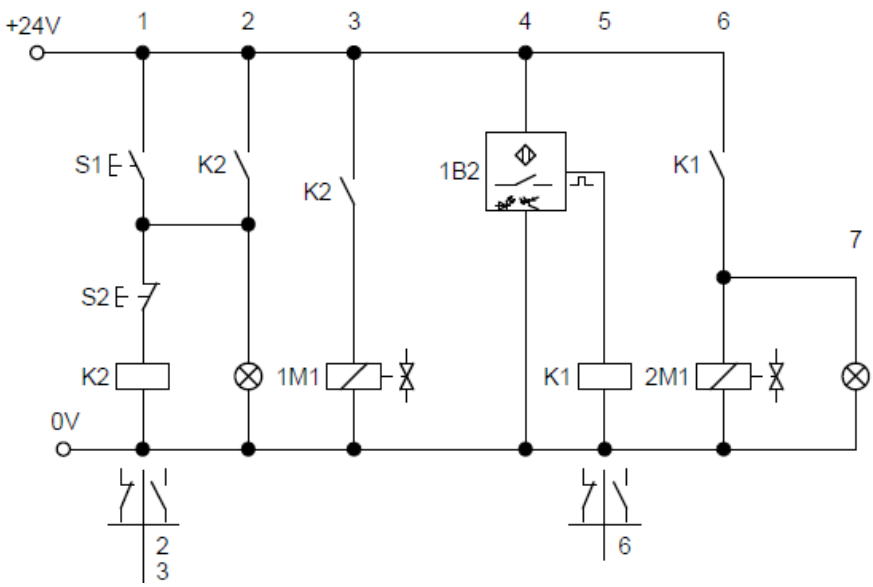
Zadanie 4


1B2
B
A
ZD1
50%
50%
ZD2
50%
ZD3
50%
ZD4
1 M
4
2
2 M
2
1M1
5
3
2M1
1
3
ZPP
1

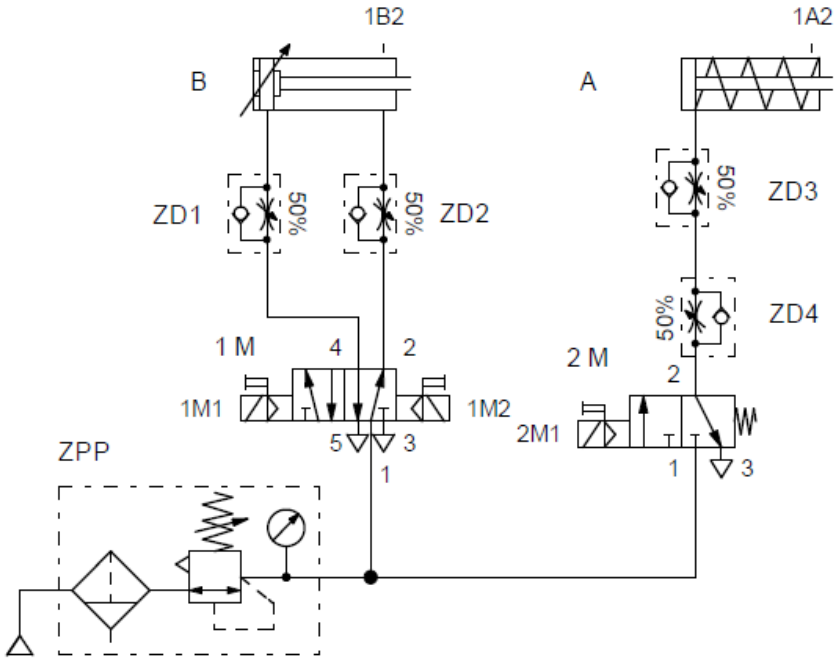

+24V
1
2
3
4
5
S1
1B2
K1
6
1M1
K1
2M1
0V
5

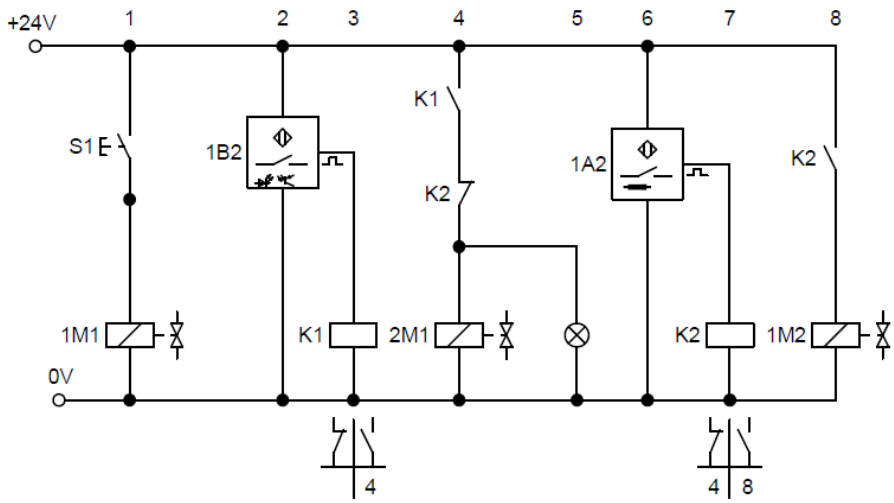
Zadanie 5


1B2
B
A
ZD1
50%
50%
ZD2
50%
ZD3
50%
ZD4
1 M
4
2
2 M
2
1M1
5
3
1
2M1
1
3
ZPP


+24V
1
2
3
4
5
6
S1
K2
K2
1B2
K1
7
S2
K2
1M1
K1
2M1
0V
2
3
6

Zadanie 6





Sprawozdanie powinno zawierać:

- zdjęcia potwierdzające zbudowanie układu,
- opis działania układu z omówieniem i wnioskami.

ROZDZIAŁ 9

Proste swobodnie programowalne systemy sterowania

Obok siłowników i czujników, głównym elementem technologii automatyki są systemy sterowania. Termin system sterowania jest często używany w szerokim znaczeniu do opisania urządzeń służących do:

- sterowania w pętli otwartej,
- sterowania w pętli zamkniętej,
- monitorowania,
- zbierania danych (procesowych),
- komunikacji,
- diagnostyki.

W węższym znaczeniu sterowanie w technologii automatyzacji odnosi się do wpływania na przepływ energii lub materiału za pomocą jednego lub większej liczby sygnałów w otwartej pętli sterowania (DIN 19226). Często stosowane są systemy sterowania dla procesów wykonywanych etapowo np.:

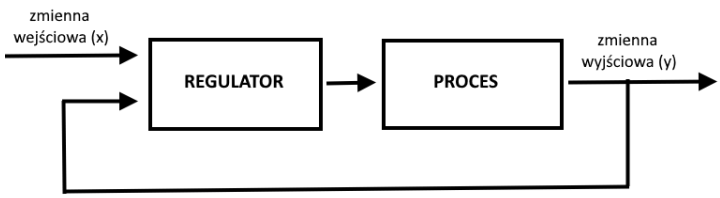
- otwieranie drzwi po wykryciu osoby znajdującej się przed nimi,
- przełączenie sygnalizacji świetlnej w funkcji czasu,
- włączenie oświetlenia korytarzowego po naciśnięciu włącznika światła i jego ponowne automatyczne wyłączenie po określonym czasie.

Rys. 9.1. Schemat układu sterowania otwartego

Tego typu systemy sterowania charakteryzują się realizacją procesu sterowania w pętli otwartej (rys. 9.1), tj. na zmienną wejściową (x) nie wpływa zmienna wyjściowa (y). Tym samym układ samoczyn-

nie nie reaguje na zmiany wartości zmiennej wyjściowej w wyniku zmiany zmiennej wejściowej lub zakłóceń.

Układy zamknięte, zwane układami regulacji automatycznej, są drugim rodzajem układów sterowania automatycznego. Mają pętlę sprzężenia zwrotnego (układ automatycznej regulacji, rys. 9.2). Są to więc układy automatyki, w których na urządzenie sterujące oddziałują wielkości sterowane w obiekcie. W takim przypadku urządzenie sterujące nazywa się regulatorem [2]. Układ taki samoczynnie reaguje na zmianę sygnału wejściowego, jak również na zakłócenia realizacji procesu i automatycznie dostosowuje parametry procesu, tak aby osiągnąć zakładane wartości parametru wyjściowego. Procesy sterowania w pętli zamkniętej są w większości procesami ciągłymi, w których zmienna wyjściowa ma być utrzymywana na określonej wartości. Przykładem takiego procesu jest: kontrolowanie temperatury wody w akwarium, kontrolowanie prędkości w pojeździe (tempomat) czy sterowanie prędkością obrotową silnika elektrycznego.



Rys. 9.2. Struktura układu zamkniętego

W technologii automatyzacji utworzono wiele terminów określających typy sterowników o określonych funkcjach. Należą do nich:

1. Przekaźnikowe programowane systemy sterowania.

W tym typie sterowania program jest realizowany w oparciu o połączone ze sobą przewodami przekaźniki. Z uwagi na potrzebę zmiany połączeń przy zmianie logiki programu stosuje się je do prostych zadań sterowania.

2. Sterowniki PLC – programowalne sterowniki logiczne (rys. 9.3).

Sterowniki PLC zostały opracowane w celu zastąpienia mniej elastycznych systemów przekaźnikowych. Składają się z układu elektronicznego ze specjalnymi modułami wejść i wyjść. Programu nie definiuje się poprzez połączenie poszczególnych przekaźników, lecz jest on przechowywany w pamięci sterownika. Sterowniki PLC prze-

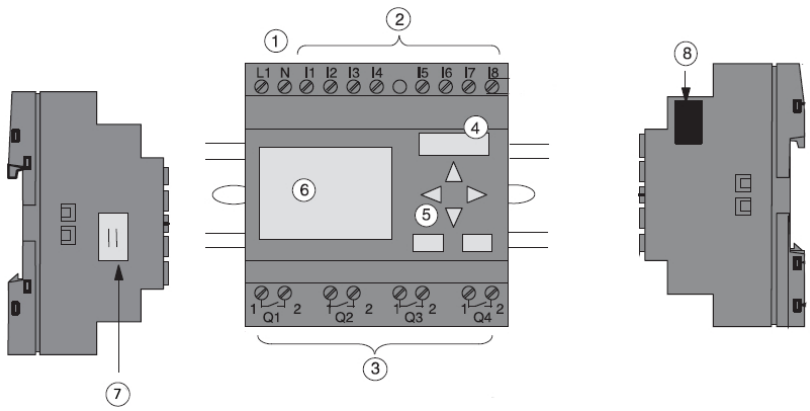
twarzają głównie dane binarne sygnałów, co umożliwia łatwą zmianę programu sterującego.

3. CNC – komputerowe sterowniki numeryczne.

Sterowniki te służą do sterowania obrabiarkami, takimi jak wiertarki, wycinarki, tokarki i inne. Pierwsze zautomatyzowane obrabiarki wykorzystywały modele, które były kopiowane w celu przeniesienia ich kształtów do obrabianego przedmiotu. Fizyczne wzorce zostały następnie zastąpione modelami numerycznymi, w których współrzędne przedmiotu obrabianego są przechowywane głównie w postaci binarnych kodów numerycznych. Głównym zadaniem sterownika CNC jest kierowanie ruchami narzędzia lub/i przedmiotu obrabianego, tak aby odwzorować komputerowy model przedmiotu w obrabianym materiale.

4. RC – sterowniki robotów.

Kontrolery robotów zostały specjalnie zaprojektowane do sterowania robotami przemysłowymi i mają podobne zadanie jak sterowniki CNC.



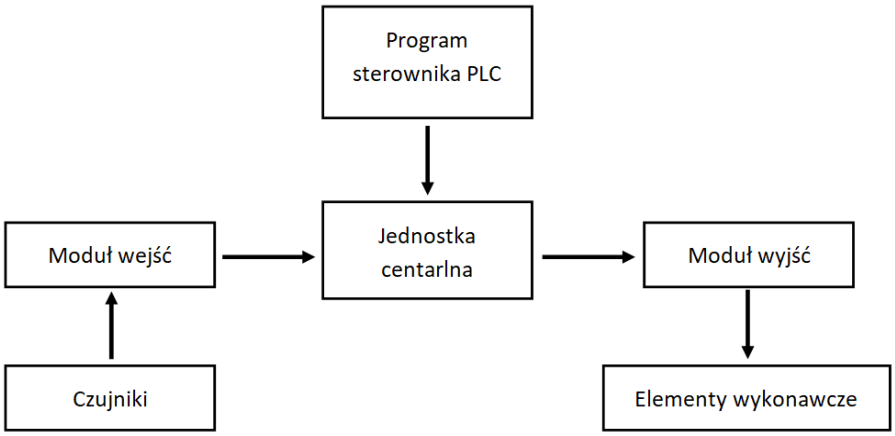
Rys. 9.3. Programowalny sterownik logiczny LOGO, 1) zasilanie, 2) wejścia, 3) wyjścia, 4) gniazdo komunikacyjne, 5) panel obsługi, 6) wyświetlacz LCD, 7) złącze panelu TD, 8) złącze modułów rozszerzających [18]

9.1. Zasada działania sterownika programowalnego

Głównym elementem sterownika PLC jest system mikroprocesorowy. Programowanie mikroprocesora polega na określeniu:

- które wejścia sterownika (I1, I2 itd.) są odczytywane,
- sposobu łączenia sygnałów wejściowych i algorytmu ich przetwarzania,
- wyjść (Q1, Q2 itp.), do których wyprowadzane są wyniki przetwarzania sygnału.

W przypadku sterownika PLC zachowanie urządzenia nie jest określane przez wzajemne połączenie komponentów elektrycznych (*hardware*), ale przez program, według którego jednostka centralna przetwarza informacje (*software*) (rys. 9.4).



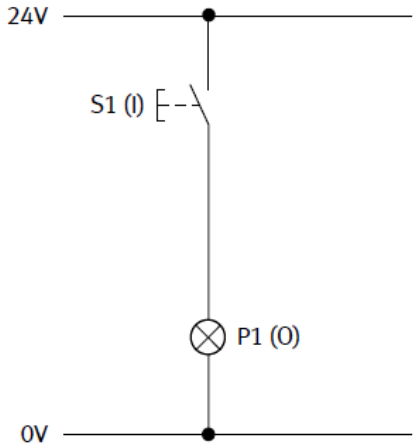
Rys. 9.4. Ideowy schemat sterownika

9.1.1. Podstawowe funkcje logiczne

Podstawowe funkcje logiczne stanowią podstawę działania większości sterowników. Funkcje logiczne można przedstawić w formie tabelarycznej w postaci równania, wykorzystując obwody przekaźnikowe lub używając symboli logicznych. Symbole logiczne w sterowniku PLC są używany do budowy programu.

Funkcja tożsamości YES

Pokazany na rysunku 9.5 przycisk jest zestykiem zwiernym. Gdy nie jest uruchomiony, lampka P1 nie świeci się. Po uruchomieniu przycisku zapala się lampka P1.



Rys. 9.5. Schemat obwodu YES

Przycisk S1 pełni funkcję wejścia sygnału, lampka jest wyjściem. Poniżej przestawiono tabelę prawdy tej funkcji (tab. 9.1).

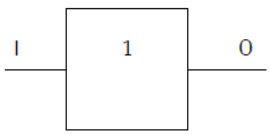
Tabela 9.1. Tabela prawdy funkcji YES

1	0
0	0
1	1

Równanie logiczne tej funkcji ma postać:

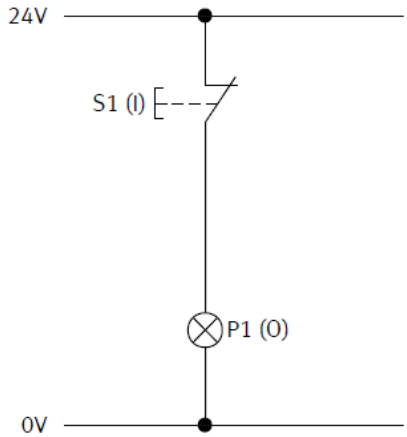
$$I = 0$$

Logicznym symbolem tożsamości jest:



Funkcja negacji NOT

Pokazany na rysunku 9.6 przycisk jest zestykiem rozwiernym. Gdy nie jest uruchomiony, świeci się lampka P1. Po uruchomieniu przycisku lampka P1 gaśnie.



Rys. 9.6. Schemat obwodu NOT

Przycisk S1 pełni funkcję wejścia sygnału, lampka jest wyjściem. Poniżej przestawiono tabelę prawdy tej funkcji (tab. 9.2)

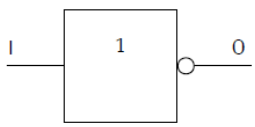
Tabela 9.2. Tabela prawdy funkcji NOT

1	0
0	1
1	0

Równanie logiczne tej funkcji ma postać:

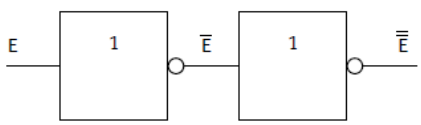
$$\overline{I} = 0$$

Logicznym symbolem negacji jest:



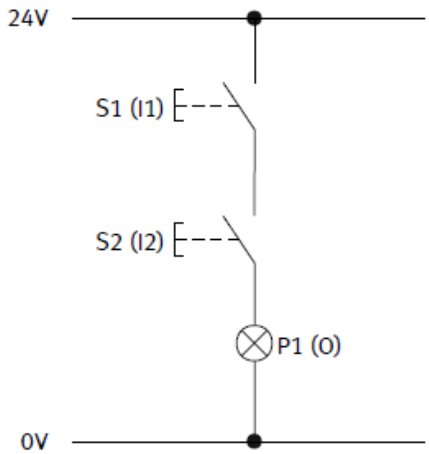
Należy przy tym zauważyć, że jeśli dwie negacje zostaną użyte po sobie, to znoszą się wzajemnie:

$\overline{\overline{E}} = E$



Funkcja iloczynu logicznego AND

Jeżeli dwa przyciski zwierne są połączone szeregowo (rys. 9.7) to podłączona lampka zapala się tylko wtedy, gdy oba przyciski są włączone.



Rys. 9.7. Schemat obwodu AND

Wyjście funkcji przyjmuje wartość „1” tylko wtedy, gdy zarówno wejście 1, jak i wejście 2 przyjmują wartość „1”. Poniżej przestawiono tabelę prawdy tej operacji (tab. 9.3)

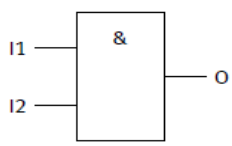
Tabela 9.3. Tabela prawdy operacji AND

I1	*I2*	0
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Równanie logiczne tej funkcji ma postać:

$$I1 \wedge \ I2 = 0$$

Logicznym symbolem iloczynu jest:



Niżej przedstawiono zasady arytmetyczne mające zastosowanie w operacji AND:

$$a \wedge 1 = a$$

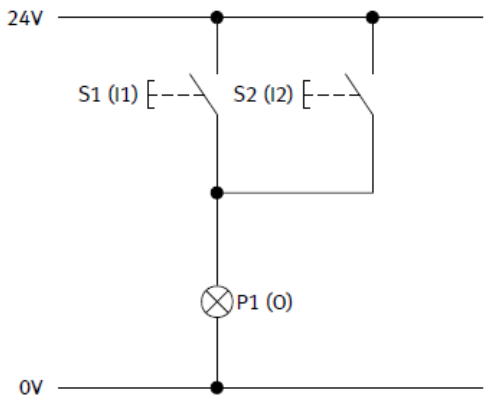
$$a \wedge 0 = 0$$

$$a \wedge a = a$$

$$a \wedge \bar{a} = 0$$

Funkcja sumy logicznej OR

Jeżeli dwa przyciski zwierne zostaną połączone równolegle (rys. 9.8), to podłączona lampka zapala się tylko wtedy, gdy co najmniej jeden przycisk został naciśnięty.



Rys. 9.8. Schemat obwodu OR

Wyjście funkcji przyjmuje wartość 0 tylko wtedy, gdy zarówno wejście 1, jak i wejście 2 przyjmują wartość 0. Poniżej przestawiono tabelę prawdy tej operacji (tab. 9.4).

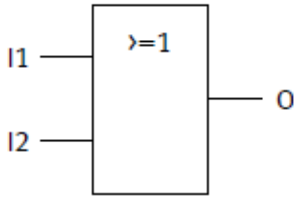
Równanie logiczne tej funkcji ma postać:

$$I1 \vee I2 = 0$$

Tabela 9.4. Tabela prawdy operacji *OR*

I1	*I2*	0
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Logicznym symbolem sumy jest:



Niżej przedstawiono zasady arytmetyczne mające zastosowanie w operacji OR:

$$a \vee 1 = 1$$

$$a \vee 0 = a$$

$$a \vee a = a$$

$$a \vee \bar{a} = 1$$

Każda z opisanych wyżej funkcji może być realizowana również pneumatycznie lub elektronicznie. W algebrze Boole'a wykorzystuje się również inne funkcje logiczne. Ich przegląd przedstawiono w tabeli 9.5.

Tabela 9.5. Operacje logiczne

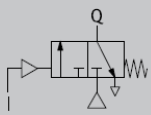
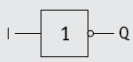
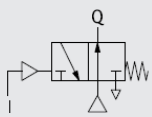
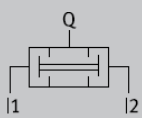
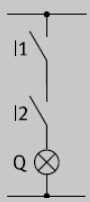
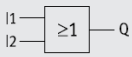
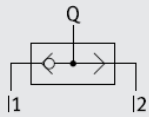
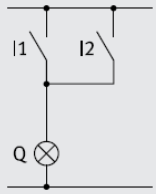
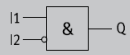
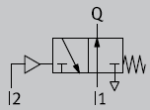
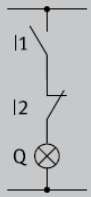
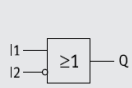
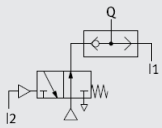
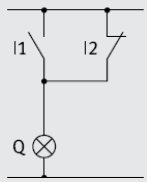
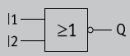
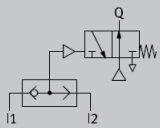
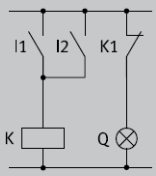
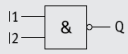
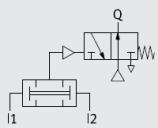
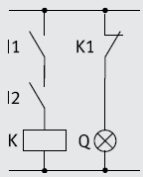
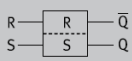
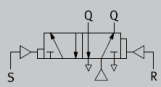
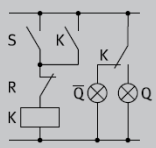
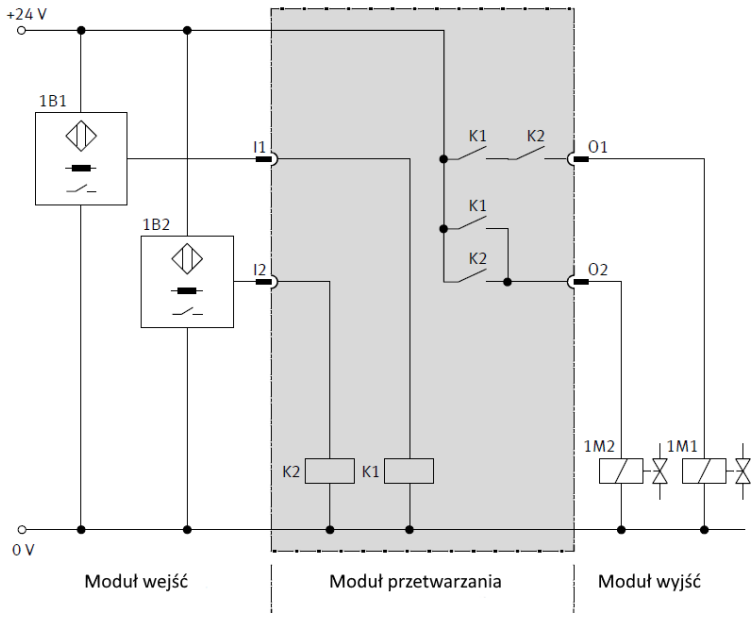
Nazwa	Tabela prawdy	Równanie	Symbol EN 60617-12	Reprezentacja pneumatyczna ISO 1219-1	Reprezentacja elektryczna EN 60617-7
Tożsamość	I | Q 0 | 0 1 | 1	Q=IQ=I			
Negacja	I | Q 0 | 1 1 | 0	$Q=\bar{I}$			
Iloczyn (AND)	I1 | I2 | Q 0 | 0 | 0 0 | 1 | 0 1 | 0 | 0 1 | 1 | 1	$Q=I1 \wedge I2$			

Tabela 9.5. Operacje logiczne

Nazwa	Tabela prawdy	Równanie	Symbol EN 60617-12	Reprezentacja pneumatyczna ISO 1219-1	Reprezentacja elektryczna EN 60617-7
Suma (OR)	I1 I2 Q 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1	$Q = I1 \vee I2$			
Inhibition	I1 I2 Q 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0	$Q = I1 \wedge \overline{I2}$			
Implication	I1 I2 Q 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1	$Q = I1 \vee \overline{I2}$			
NOR	I1 I2 Q 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0	$Q = \overline{I1 \vee I2}$			
NAND	I1 I2 Q 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0	$Q = \overline{I1 \wedge I2}$			
Pamięć	S R Q $\overline{Q}$ 0 0 q^{n-1} $\overline{q}^{n-1}$ 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1				

9.1.2. Przykład struktury sterowania

Sekcja sterownika elektropneumatycznego przetwarzającego sygnały obejmuje trzy moduły. Przykładową jego konstrukcję pokazano na rysunku 9.9.



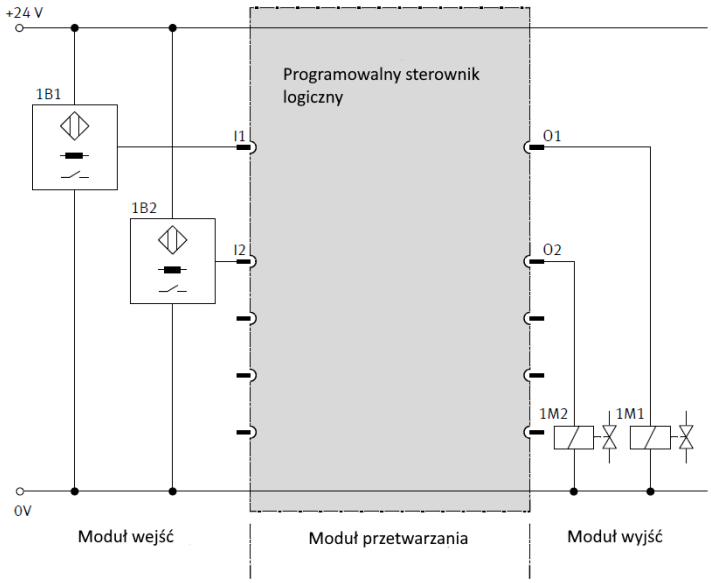
Rys. 9.9. Schemat układu sterowania z zaznaczonymi elementami elektrycznymi w sekcji sterowania [9]

W układzie tym:

- Wejście sygnału odbywa się za pomocą czujników lub za pomocą przycisków lub przełączników sterujących. Na rysunku 9.9 na wejściu sygnału wykorzystywane są dwa czujniki zbliżeniowe (1B1/1B2).
- Przetwarzanie sygnału zwykle odbywa się za pomocą sterownika przekaźnikowego lub programowalnego sterownika logicznego. Na rysunku 9.9 przetwarzanie sygnału odbywa się za pomocą sterownika przekaźnikowego (K1/K2).
- Wyjście sygnału odbywa się za pomocą zaworów rozdzielających uruchamianych elektromagnetycznie (1M1/1M2).

Przedstawiony układ sterowania działa w następujący sposób:

- Czujniki indukcyjne 1B1 i 1B2 będące źródłem sygnału wejściowego są połączone z cewkami przekaźników (K1, K2) poprzez wejścia sterownika (I1, I2).
- Przetwarzanie sygnału odbywa się poprzez odpowiednie połączenie zestyków przekaźników. W tym przypadku zestyki przekaźnika są połączone operatorem AND do wyjścia O1, a zestyki OR do wyjścia O2.
- Elementy wyjściowe w postaci cewek elektrozaworu sterującego kierunkiem 1M1 i 1M2 są podłączone do wyjść sterownika (O1, O2). Uruchamiane są one poprzez styki przekaźników K1 i K2.



Rys. 9.10. Schemat układu sterowania z programowalnym sterownikiem logicznym (PLC) [9]

Na rysunku 9.10 przedstawiono przykład sterowania układem elektropneumatycznym z wykorzystaniem programowalnego sterownika logicznego służącego do przetwarzania sygnałów. W układzie tym możemy wyróżnić:

- Elementy wejściowe sygnału: indukcyjne czujniki zbliżeniowe (1B1 i 1B2) są połączone z wejściami sterownika PLC (I1, I2).
- Programowalny system mikroprocesorowy (sterownik PLC), który obsługuje wszystkie zadania przetwarzania sygnałów.
- Elementy wyjściowe: cewki elektrozaworu sterującego kierunkiem przepływu 1M1 i 1M2, które połączone są z wyjściami sterownika

PLC (O1, O2). Ich uruchomienie odbywa się poprzez obwód elektroniczny będący częścią systemu mikroprocesorowego.

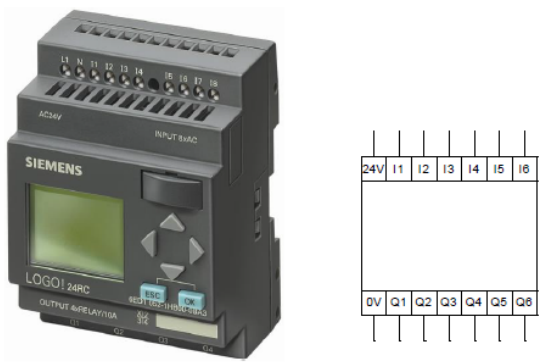
9.2. Programowalne sterowniki logiczne (PLC)

9.2.1. Informacje ogólne

Obecnie złożone zadania sterujące są realizowane głównie za pomocą programowalnych sterowników logicznych (PLC). W tym sposobie sterowania, program nie jest realizowany poprzez łączenie poszczególnych przekaźników, lecz za pomocą odpowiedniego oprogramowania. Sterowniki PLC przetwarzają głównie sygnały binarne. Ich zaletami w porównaniu ze sterownikami przekaźnikowymi lub programowanymi na stałe są:

- posiadanie tylko kilku bloków logicznych w oprogramowaniu zamiast licznych przekaźników,
- mała ilość okablowania,
- duża elastyczność w odniesieniu do możliwości zmiany programów,
- łatwy sposób diagnozowania usterki,
- niski koszt implementacji.

System uczenia się MecLab wykorzystuje sterownik PLC symulowany w oprogramowaniu FluidSIM zamiast rzeczywistego sterownika PLC. Mimo to programowanie tego układu jest takie samo, jak w przypadku standardowego sterownika PLC, takiego jak Siemens LOGO!, który pokazano na rysunku 9.11.



Rys. 9.11. Sterownik LOGO! firmy Siemens oraz jego symbol w programie FluidSIM [9]

9.2.2. Symbole logiczne stosowane w oprogramowaniu FluidSIM

Oprogramowanie FluidSIM oferuje trzy możliwości opracowania systemu sterowania:

- obwody pneumatyczne,
- obwody elektryczne,
- obwody logiczne.

Wszystkie te typy obwodów można ze sobą łączyć. Program wyposażony jest również w moduł testowy, który umożliwia sprawdzenie działania opracowanego systemu, zanim zostanie on zrealizowany w rzeczywistych warunkach. Tabela 9.6 zawiera przegląd najważniejszych symboli logicznych dostępnych w programie FluidSIM.

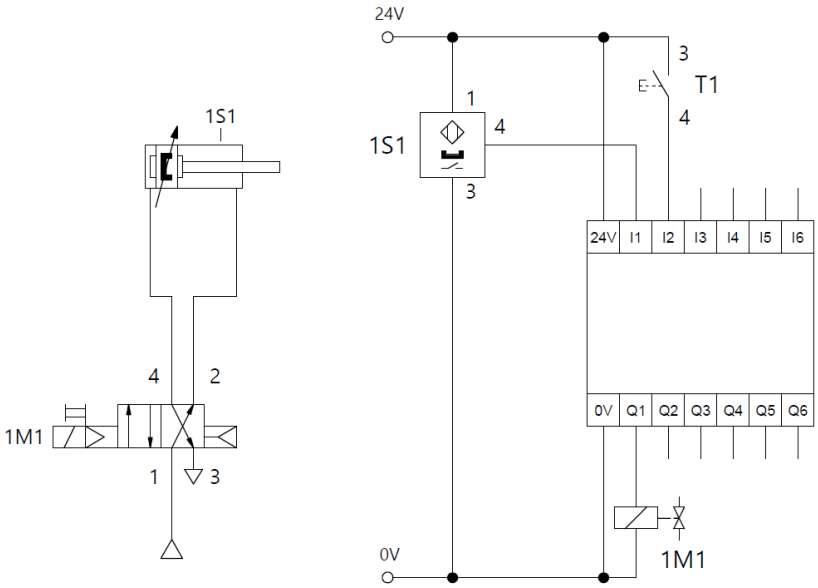
Tabela 9.6. Symbole podstawowych operacji logicznych dostępnych w programie FluidSIM

Symbol	Oznaczenie	Działanie
	AND	Przełącza wyjście na 1 gdy wszystkie wejścia mają stan 1. Nieprzypisane wejścia domyślnie przyjmują stan 1.
	OR	Przełącza wyjście na 1 gdy co najmniej jedno wejście ma stan 1. Nieprzypisane wejścia domyślnie przyjmują stan 0.
	NOT	Odwraca wartość wejścia.
	NOT AND (NAND)	Przełącza wyjście na 0 gdy wszystkie wejścia mają stan 1. Nieprzypisane wejścia domyślnie przyjmuja stan 1.
	Przerzutnik typu RS	Przełącza i zapamiętuje wyjście na 1 gdy górne wejście ustawione jest na 1, a dolne na 0. Wyjście jest resetowane do stanu 0 gdy dolne wejście przyjmuje stan 1.
	Zwłoka czasowa załączenia/wyłączenia	Gdy wejście jest ustawione na 1 to wyjście przyjmuje stan 1 po upływie pierwszego ustawionego czasu. Wyjście przyjmuje stan 0 po upływie drugiego nastawionego czasu liczonego od momentu gdy wejście przyjmie stan 0.
	Zegar z opóźnieniem czasowym	Wyjście jest ustawiane na 1 po upływie czasu włączenia i resetowane na 0 po upływie czasu wyłączenia. Proces może być powtarzany po określeniu czasu powtórzenia.
	Znacznik	Wyjście przyjmuje wartość wejścia. Stosowany jest tam gdzie logika połączonych bloków wymusza użycie elementu pośredniego.
	Licznik	Oblicza, jak często wartość 1 była obecna na środkowym wejściu. Wyjście jest ustawione na 1 po osiągnięciu zadanej liczby impulsów zliczających. Kierunek liczenia(do przodu/do tyłu) można ustawić za pomocą dolnego wejścia. Reset licznika jest realizowany za pomocą górnego wejścia.

9.2.3. Układ sterowania wykorzystujący sterownik logiczny (PLC)

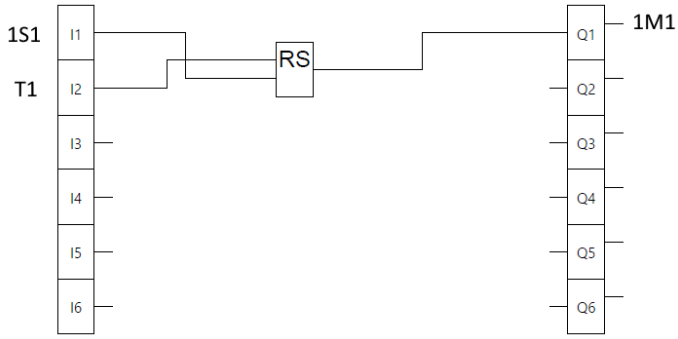
Przykład 1: zapamiętanie stanu

Na rys. 9.12 przedstawiono schemat układu złożonego z siłownika dwustronnego działania sterowanego z wykorzystaniem zaworu monostabilnego 4/2 z jedną cewką elektromagnetyczną. Działanie układu polega na tym, że po naciśnięciu przycisku T1 siłownik ma się wysunąć. Po osiągnięciu pozycji końcowej wykrytej przez czujnik 1S1 tłoczysko ma powrócić do stanu początkowego.



Rys. 9.12. Schemat układu pneumatycznego z zaworem elektromagnetycznym i czujnikiem zbliżeniowym

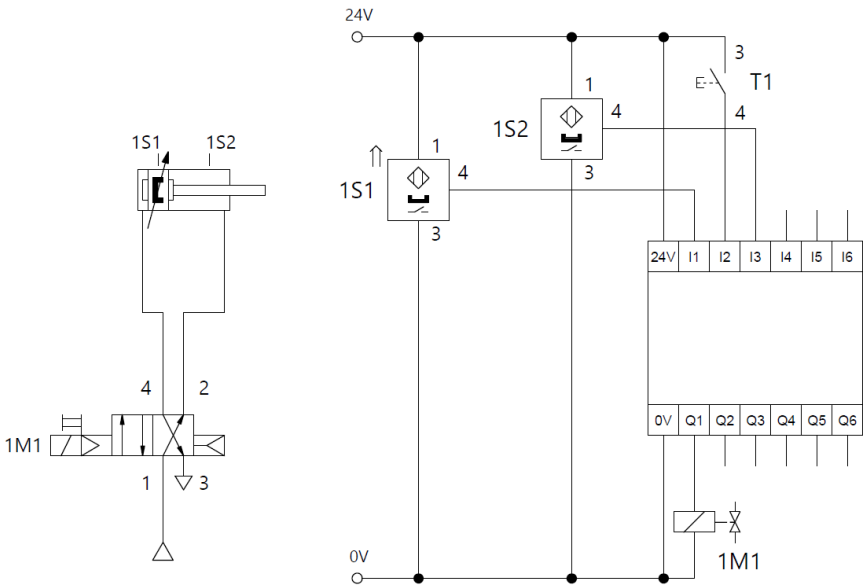
Na rys. 9.13 przedstawiono program sterownika PLC realizujący zakładane działanie. Przycisk T1 jest podłączony do wejścia I1 sterownika PLC. Jego wciśnięcie aktywuje przerzutnik RS, który na wyjściu przyjmuje wartość „1”, którą przekazuje na wyjście Q1, co powoduje przesterowanie zaworu 4/2 poprzez zadziałanie elektromagnesu 1M1. Gdy tłok cylindra osiągnie przednią pozycję końcową, zostaje aktywowany czujnik 1S1 podłączony do wejścia I2 sterownika PLC. To powoduje, że na dolnym wejściu przerzutnika zostanie podany sygnał „1”, co doprowadzi do zresetowania sygnału wyjściowego. To z kolei powoduje, że zawór powraca do swojego normalnego położenia, a tłoczysko cylindra cofa się.



Rys. 9.13. Program sterownika PLC dla schematu z rys. 9.12

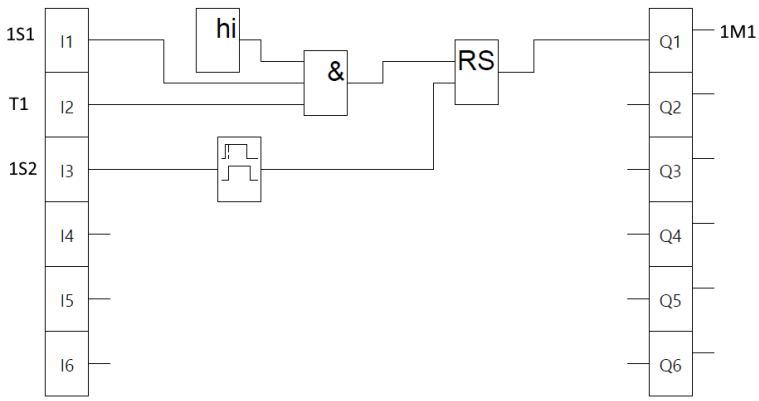
Przykład 2: Operacja AND, zwłoka czasowa

Na rys. 9.14 przedstawiono zmodyfikowany obwód pneumatyczny. Siłownik jest wyposażony w dwa czujniki zbliżeniowe, jeden w przednim położeniu końcowym i jeden w tylnym położeniu końcowym. Należy opracować program, który umożliwi przesuw siłownika po naciśnięciu przycisku, w przypadku gdy będzie on w położeniu krańcowym wsuniętym. Tłoczysko po pełnym wysunięciu ma pozostać w tej pozycji przez 3 s, po czym ma powrócić do położenia początkowego.



Rys. 9.14. Schemat układu pneumatycznego z dwoma czujnikami zbliżeniowymi

Na rys. 9.15 przedstawiono program sterownika PLC realizujący zakładane działanie. Wejścia I1 i I2, do których podłączony jest czujnik 1S1 i przycisk T1, zostały połączone operacją logiczną AND. To powoduje, że jeśli siłownik znajduje się w skrajnej pozycji wsuniętej i naciśnięty jest przycisk T1, to wszystkie wejścia operacji AND są ustawiane na 1, co w konsekwencji powoduje zapamiętanie stanu 1 w przerzutniku RS. Wyjście Q1 przyjmie wtedy stan wysoki i przesteruje zawór sterujący poprzez zadziałanie cewki elektromagnetycznej. W momencie gdy siłownik osiągnie swoje skrajne położenie wysunięte, aktywuje się czujnik zbliżeniowy 1S2, który ustawia wejście zwłoki czasowej na „1”. Po upływie ustawionego czasu opóźnienia wyjście elementu opóźniającego jest ustawiane na „1”, co w konsekwencji powoduje skasowanie stanu 1 wyjścia przerzutnika RS. Wyjście Q1 przyjmuje wtedy stan niski, a prąd nie jest już doprowadzany do elektrozaworu 1M1, w konsekwencji czego dochodzi do powrotu tłoczyska siłownika.

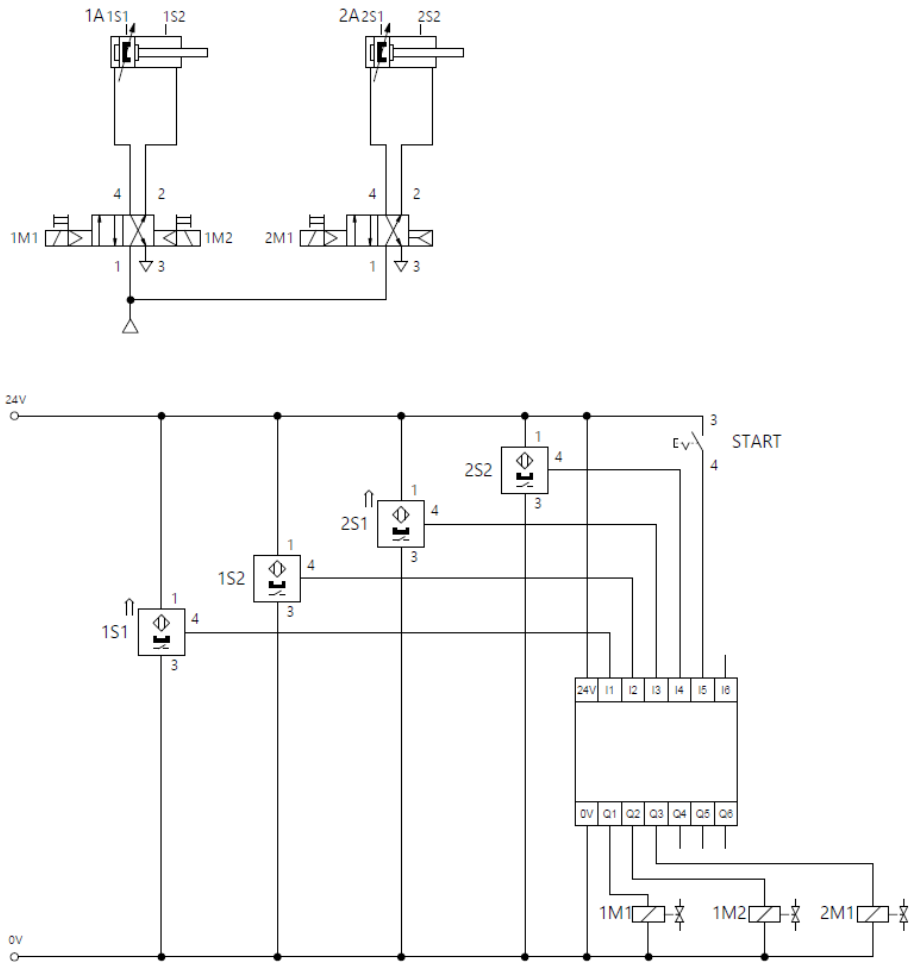


Rys. 9.15. Program sterownika PLC dla schematu z rys. 9.14

9.2.4. Sekwencyjny układ sterowania

W przypadku gdy poszczególne działania układu mają być realizowane sekwencyjnie, nie jest możliwe stosowanie kombinacyjnych układów sterowania. W celu realizacji tego typu układów wprowadza się dodatkowy warunek realizacji kroku poprzedzającego przed wykonaniem kroku następnego. W takich układach informacje są gromadzone w przerzutnikach.

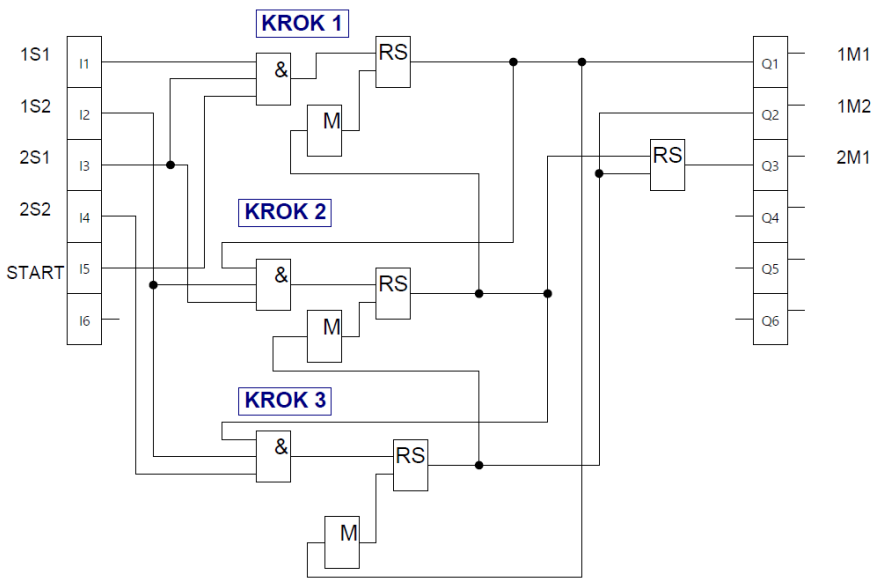
Na rys. 9.16 przedstawiono schemat układu pneumatycznego złożonego z dwóch siłowników dwustronnego działania wyposażonych w czujniki skrajnych położeń. Siłownik 1A jest sterowany zaworem bistabilnym 4/2, zaś siłownik 2A zaworem monostabilnym 4/2. Działanie układu ma polegać na wysunięciu tłoczyska siłownika 1A po zainicjowaniu pracy poprzez wciśnięcie przełącznika START. Po wysunięciu siłownika 1A ma nastąpić wysunięcie tłoczyska siłownika 2A. Po osiągnięciu przez siłownik pozycji skrajnej oba siłowniki mają powrócić do pozycji początkowej. W momencie kiedy siłownik 1A osiągnie pozycję wyjściową, proces ma się powtórzyć. Po wyłączeniu przełącznika START układ ma się zatrzymać w pozycji wyjściowej.



Rys. 9.16. Schemat układu pneumatycznego z dwoma siłownikami pneumatycznymi działającymi w układzie sekwencyjnym

Układ sterowania przedstawiono na rys. 9.17. Układ działa w następujący sposób:

- Gdy czujniki zbliżeniowe 1S1 i 2S1 są aktywowane (oba tłoki w położeniu wyjściowym), przerzutnik RS zostaje aktywowany poprzez operację AND po wciśnięciu przycisku START. To spowoduje zasilenie elektromagnesu zaworu 1M1 i siłownik 1A wysunie się (krok 1).
- W momencie gdy siłownik 1A osiągnie swoje przednie położenie krańcowe, druga operacja AND aktywuje drugi przerzutnik. To spowoduje załączenie elektromagnesu zaworu 2M1 i siłownik 2A przesunie się do przodu (krok 2). Krok 2 można jednak zrealizować tylko wtedy, gdy wykonano już krok 1, ponieważ wyjście pierwszego elementu przerzutnika jest połączone z wejściem operacji AND drugiego obwodu. Po wykonaniu kroku 2 następuje skasowanie wyjścia przerzutnika pierwszego z wykorzystaniem znacznika M.
- Po wykonaniu kroku 2 i osiągnięciu przez oba siłowniki przedniego położenia krańcowego zostaje aktywowany krok 3. W wyniku jego realizacji nastąpi zresetowanie kroku 2 i aktywacja cewki zaworu 1M2 przy równoczesnym wyłączeniu zasilania cewki zaworu 2M1. W tym stanie zasilania cewek obydwa cylindry powracają do swoich normalnych pozycji i cykl rozpoczyna się od nowa.



Rys. 9.17. Program sterownika PLC dla schematu z rys. 9.16

Należy tu zauważyć, że wykonanie każdego kolejnego kroku jest warunkowane wykonaniem kroku poprzedniego z jednoczesnym zresetowaniem jego stanu. Za pomocą tej techniki można połączyć dowolną liczbę sekwencji, co umożliwia realizację bardzo złożonych operacji.

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności programowania prostych systemów sterowania z wykorzystaniem sterowników programowalnych.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania FluidSIM. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do realizacji ćwiczenia.

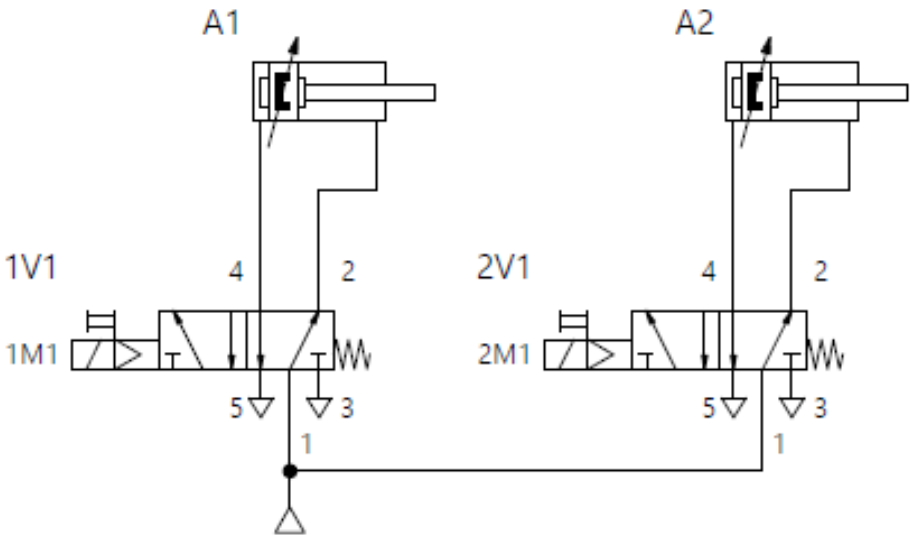
Treść zadania

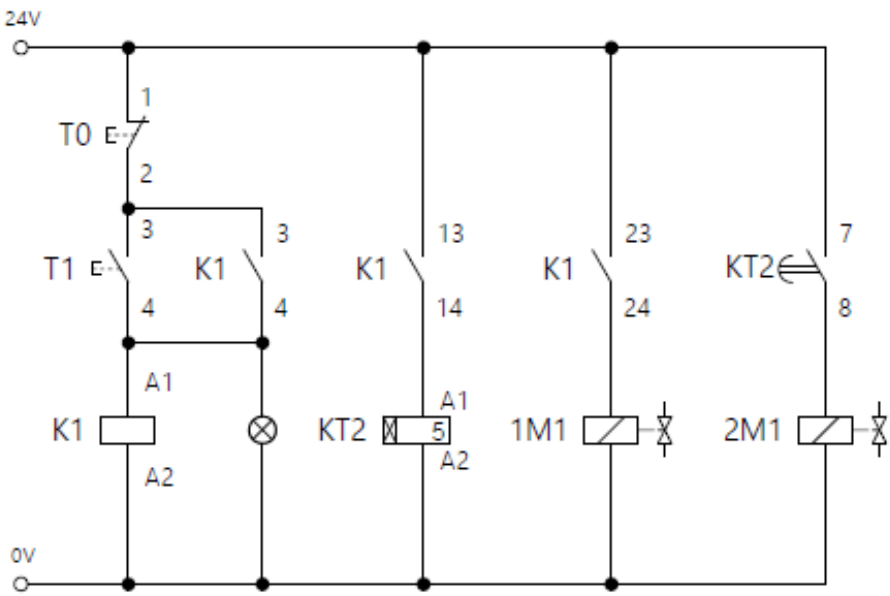
1) Zaprojektować wirtualny układ pneumatyczny zgodnie ze schematem dla wskazanego zadania, a następnie przeprowadzić symulację działania układu.
2) Wykonać schemat podłączeniowy do sterownika programowalnego.
3) Napisać program sterujący układem pneumatycznym dla sterownika PLC realizujący zdefiniowaną w zadaniu funkcję zgodną ze schematem elektrycznym.

Sprawozdanie powinno zawierać:

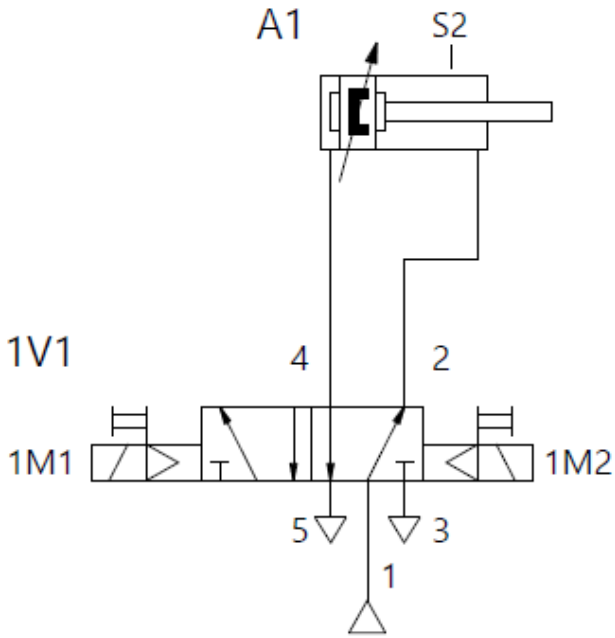
- zdjęcia potwierdzające zbudowanie układu,
- opis działania układu sterowania z omówieniem i wnioskami.

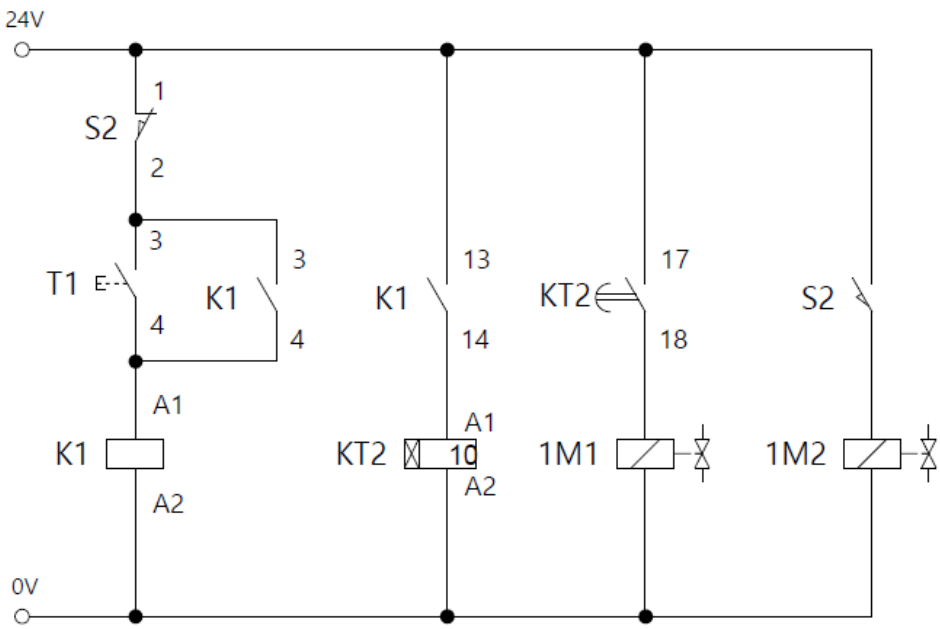
Zadanie 1


A1
A2
1V1
2V1
1M1
2M1
4
2
5
3
1

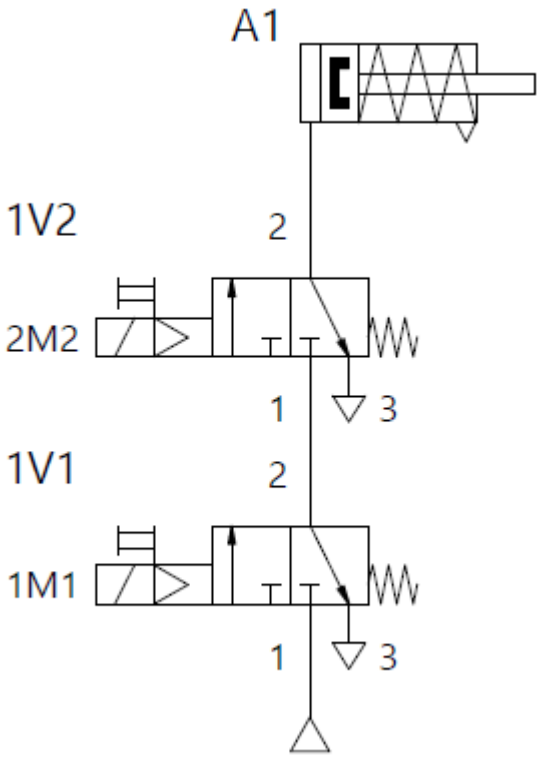

24V
0V
T0
T1
K1
KT2
1M1
2M1
1
2
3
4
13
14
23
24
7
8
5
A1
A2

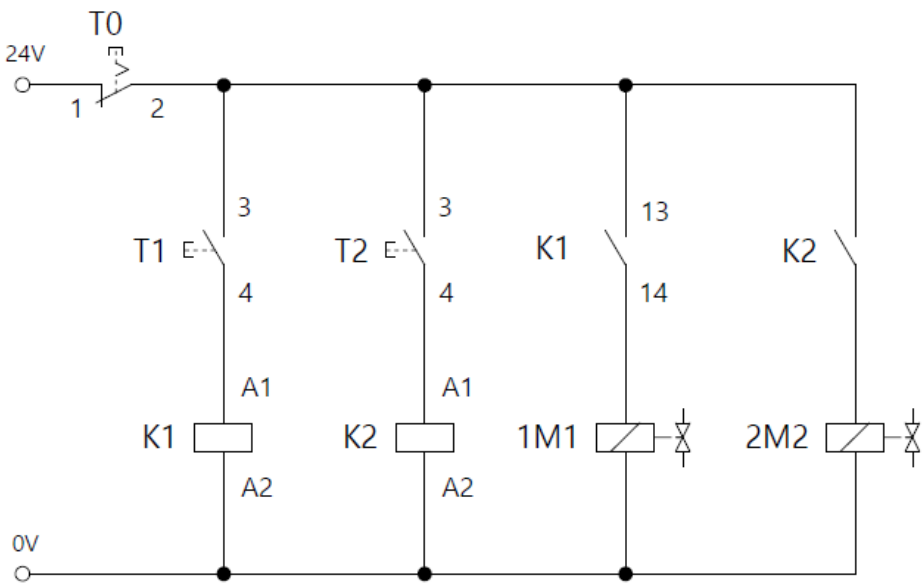
Zadanie 2


A1
S2
1V1
4
2
1M1
1M2
5
3
1

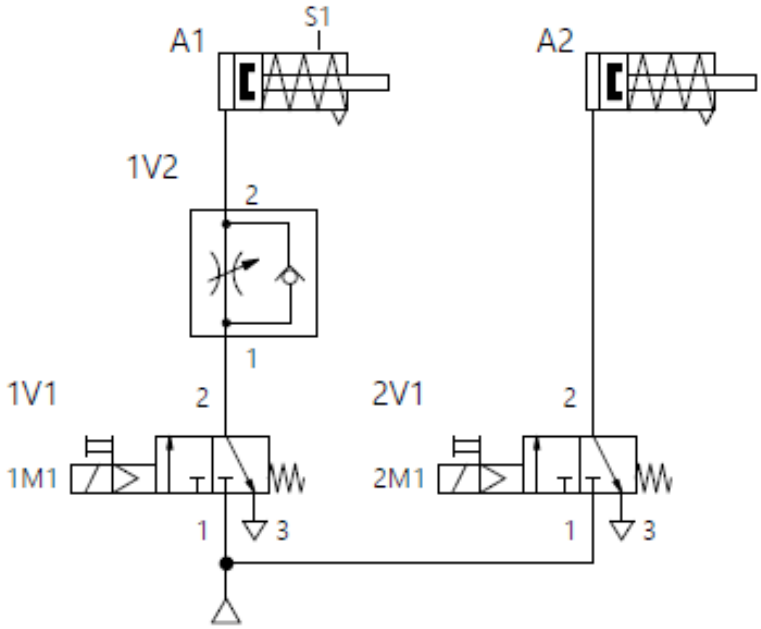

24V
1
S2
2
3
T1
K1
3
4
4
A1
K1
A2
13
K1
14
A1
KT2
10
A2
17
KT2
18
1M1
S2
1M2
0V

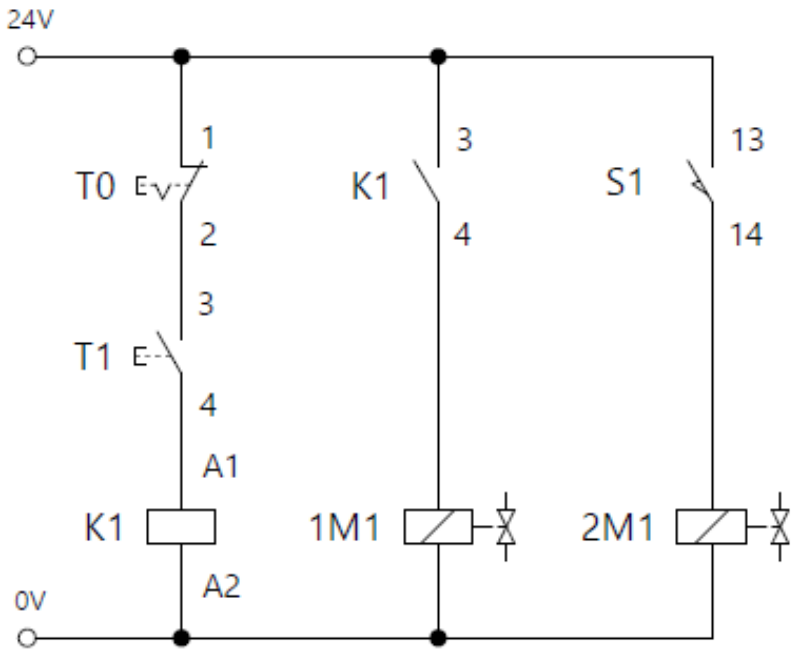
Zadanie 3


A1
1V2
2
2M2
1
3
1V1
2
1M1
1
3

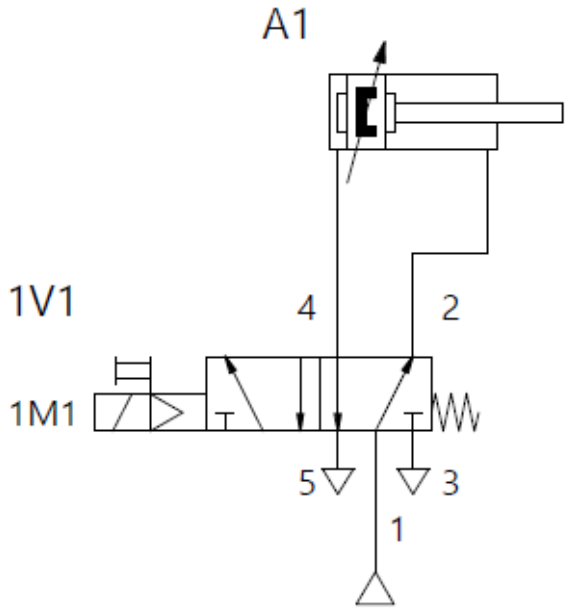

T0
24V
1
2
3
3
13
T1
T2
K1
K2
4
4
14
A1
A1
K1
K2
1M1
2M2
A2
A2
0V

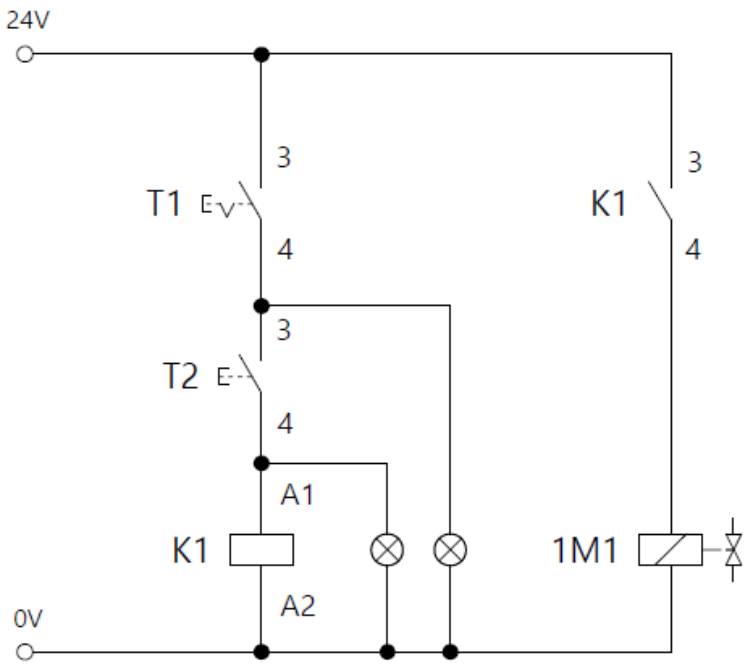
Zadanie 4


A1
S1
A2
1V2
2
1
1V1
2
2V1
2
1M1
2M1
1
3
1
3

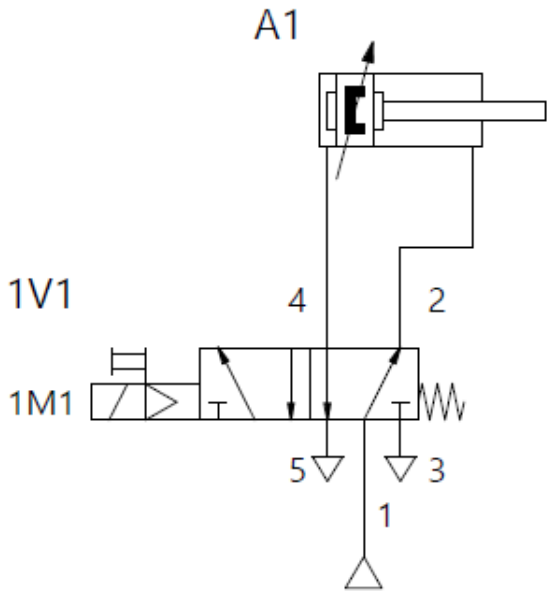

24V
1
3
13
T0
K1
S1
2
4
14
3
T1
4
A1
K1
1M1
2M1
A2
0V

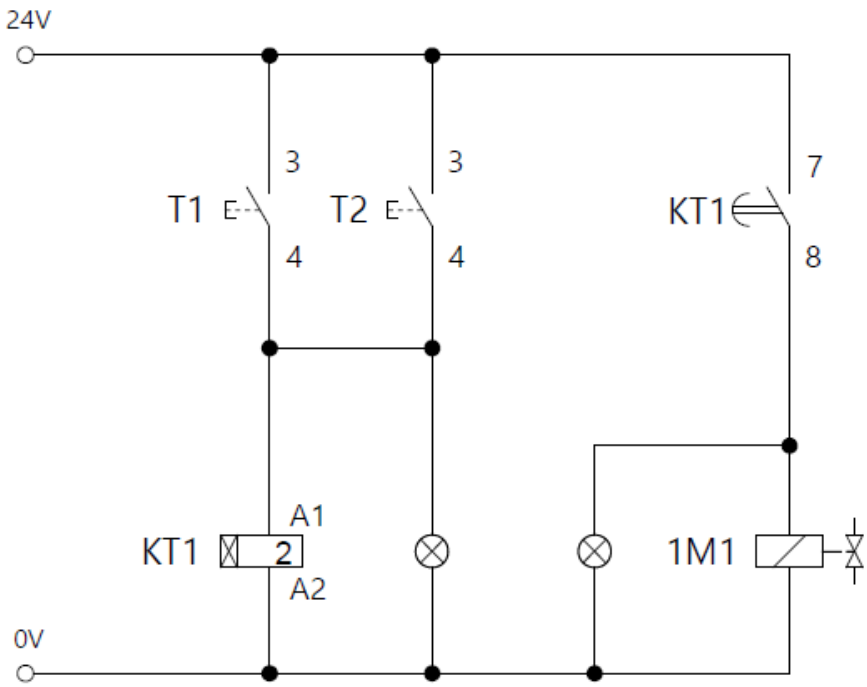
Zadanie 5





Zadanie 6





ROZDZIAŁ
10

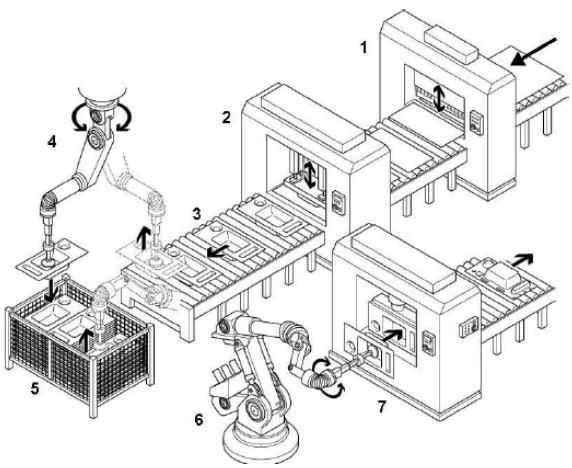
Zestaw dydaktyczny MacLab – projektowanie układów

Zestaw dydaktyczny MacLab składa się z trzech stacji symulujących funkcje:

- magazynowania, wydawania i montażu,
- transportu i segregowania,
- obsługi (przenoszenia).

Te trzy funkcje są typowe i podstawowe dla zautomatyzowanej produkcji.

Na rys. 10.1 przedstawiono szkic linii produkcyjnej do wytwarzania części z blachy. Arkusze materiału transportowane są za pomocą przenośnika rolkowego (3) do stanowisk obróbczych (1, 2, 7), gdzie następuje formowanie produktu. Pierwszy robot (4) umieszcza półprodukty dostarczone podajnikiem w magazynie (5), drugi robot (6) pobiera arkusze z magazynu i podaje je na trzecie stanowisko obróbcze (7), realizując w ten sposób separację części.



Rys. 10.1. Schemat zrobotyzowanej linii do produkcji części z blachy [9]

Stacje MacLab realizują podobne funkcje:

- Stacja magazynowania umożliwia pojedyncze wydawanie części z zasobnika. Zaopatrzona jest również w układ pozwalający na montaż zespołów.
- Stacja transportowa służy do transportu detali na podajniku. Umożliwia sortowanie detali poprzez wykorzystanie zrzutni.
- Stanowisko manipulacyjne służy do przenoszenia detali z jednego stanowiska na drugie.

Funkcje stacji można rozszerzać lub modyfikować poprzez dodawanie lub usuwanie elementów takich jak czujniki czy napędy.

Stacje są sterowane za pomocą programu symulacyjnego i sterującego FluidSIM połączonego z EasyPort. EasyPort umożliwia FluidSIM odczytywanie sygnałów czujników ze stacji i uruchamianie napędów stacji. EasyPort służy także do łączenia stacji z interfejsem USB komputera. EasyPort jest dodatkowo zasilany poprzez zasilacz. Stacje wyposażone są w elementy sterowania ręcznego, co umożliwia ręczne uruchomienie niektórych ich funkcji. W przypadku zaworów pneumatycznych istnieje możliwość ręcznego ich sterowania poprzez przesterowanie zaworu z wykorzystaniem oznaczonych na niebiesko przycisków (uruchamia się je poprzez przekręcenie o 90 stopni).

Wszystkie stacje mogą być używane niezależnie, realizując zakładane ich funkcje. Istnieje również możliwość zamiany komponentów pomiędzy stanowiskami lub połączenia stanowisk w jedną linię produkcyjną.

10.1. Stanowisko magazynowania, wydawania i montażu

10.1.1. Znaczenie techniczne

W większości procesów produkcyjnych występuje potrzeba tymczasowego składowania surowców, półproduktów lub wyrobów gotowych. Często do tego celu wykorzystuje się palety lub pojemniki. Półfabrykaty w obrębie linii produkcyjnej należy przechowywać w taki sposób, aby można je było jak najskuteczniej wprowadzić do rzeczywistego procesu produkcyjnego.

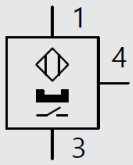
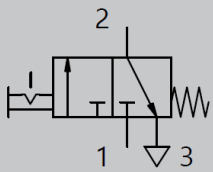
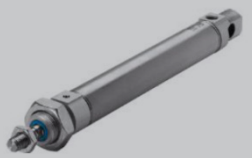
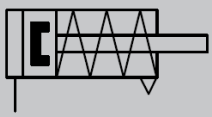
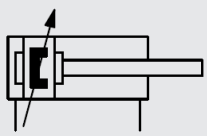
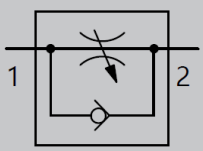
Wiele małych części, takich jak śruby, nakrętki czy sprężyny, jest dostarczanych luzem i należy je ułożyć zanim będą mogły zostać automatycznie poddane dalszej obróbce. Do tego celu mogą być wykorzystane podajniki wibracyjne (rys. 10.2). Wibracje zasobnika przy odpowiedniej częstotliwości powodują przesuwanie się części wzdłuż rynienek, na których umieszczone są tzw. „pułapki", które przepuszczają jedynie prawidłowo zorientowane części. Prowadzi to do dostarczenia do procesu produkcyjnego prawidłowo zorientowanych elementów, pomimo tego, że dostarczany materiał bazowy jest wymieszany w sposób przypadkowy. Zorientowane części mogą być również magazynowane w zasobnikach, np. grawitacyjnych, skąd mogą być pojedynczo wydawane w celu realizacji określonego procesu.

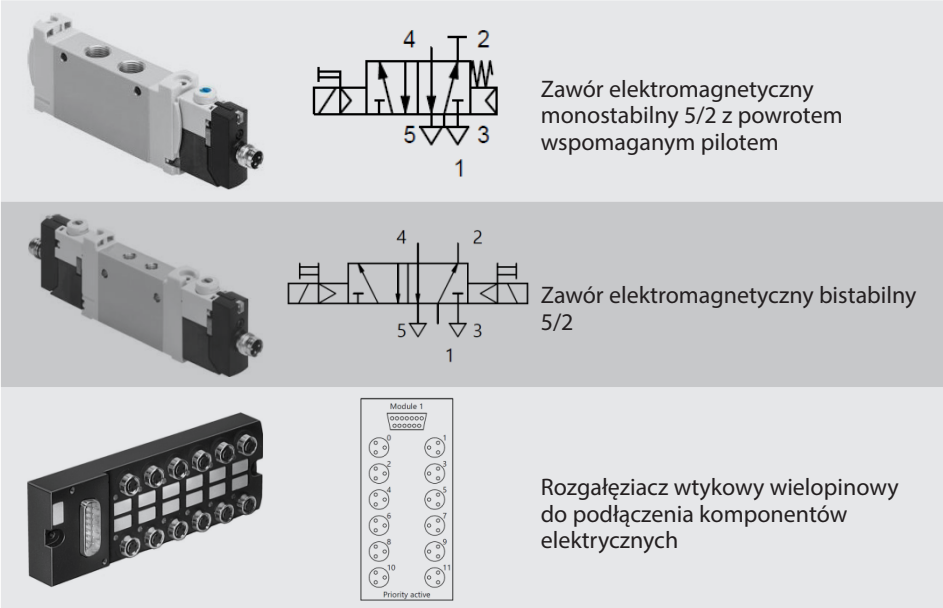
Rys. 10.2. Widok podajnika wibracyjnego

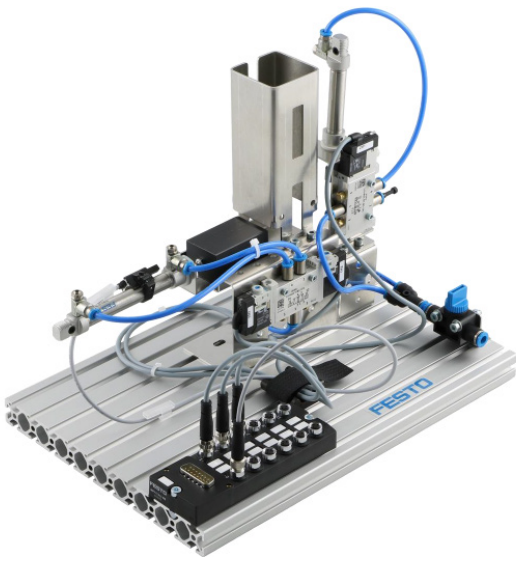
10.1.2. Elementy stanowiska stacji magazynowania, wydawania i montażu

Stanowisko magazynowania składa się z kilku pojedynczych elementów, które można stosować samodzielnie lub łączyć w zależności od realizowanego zadania (rys. 10.3). W tabeli 10.1 wymieniono najważniejsze elementy stacji wraz z ich symbolami.

Tabela 10.1. Podstawowe elementy stacji magazynowania, wydawania i montażu

Zdjęcie	Symbol	Opis
		Zestaw montażowy czujnika położenia tłoka siłownika
		Magnetyczny czujnik zbliżeniowy do wykrywania położenia tłoka siłownika
		Zawór odcinający 3/2 do odcinania dopływu sprężonego powietrza i odpowietrzania układu
		Łącznik wtykowy typu V
		Siłownik jednostronnego działania o średnicy tłoka 10 mm i skoku 25 mm
		Siłownik dwustronnego działania o średnicy tłoka 10 mm i skoku 50 mm
		Zawór dławiąco-zwrotny do regulacji prędkości pracy siłowników





Rys. 10.3. Stanowisko magazynowania i wydawania

W trakcie użytkowania stanowiska należy zwrócić uwagę na to, że przewody od zaworów rozdzielających należy podłączać do gniazd rozgałęziacza elektrycznego z wykorzystaniem wyjść nieparzystych (1, 3, 5, 7, 9, 11). Przewody czujników należy podłączać do szeregu przyłączy oznaczonych numerami parzystymi (0, 2, 4, 6, 8, 10).

10.1.3. Przykładowe zadanie

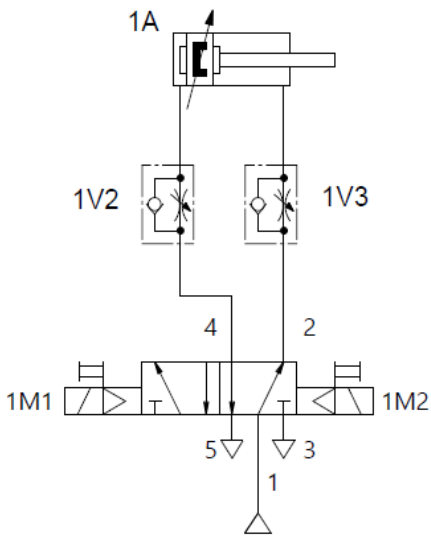
Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach realizujący proces wydawania komponentów w taki sposób, aby po naciśnięciu przycisku T1 nastąpiło wypchnięcie jednego przedmiotu z magazynu. Cofnięcie suwaka ma nastąpić po naciśnięciu przycisku T2.

Analiza zadania:

Wciśnięcie przycisku T1 musi spowodować zapamiętanie stanu przełączenia, co zapewni zawór bistabilny 5/2. W związku z tym nie wymaga to użycia elementów pamięci w układzie sterowania. Przesterowanie zaworu poprzez wciśnięcie przycisku T2 spowoduje powrót suwaka wydającego. Należy zabezpieczyć układ przed jednoczesnym wciśnięciem obydwu przycisków, aby wykluczyć niepożądane zachowanie elementów roboczych.

Wykonanie schematu pneumatycznego:

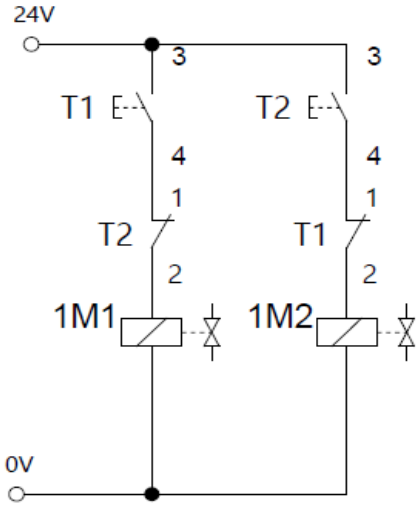
W programie FluidSIM w oparciu o znajomość elementów składowych stanowiska (tab. 10.1) należy opracować schemat połączeniowy elementów układu pneumatycznego (rys. 10.4).



Rys. 10.4. Schemat układu pneumatycznego wysuwu części z magazynu

Wykonanie schematu elektrycznego:

Należy opracować schemat układu sterowania pozwalający na realizację zakładanych funkcji (rys. 10.5).

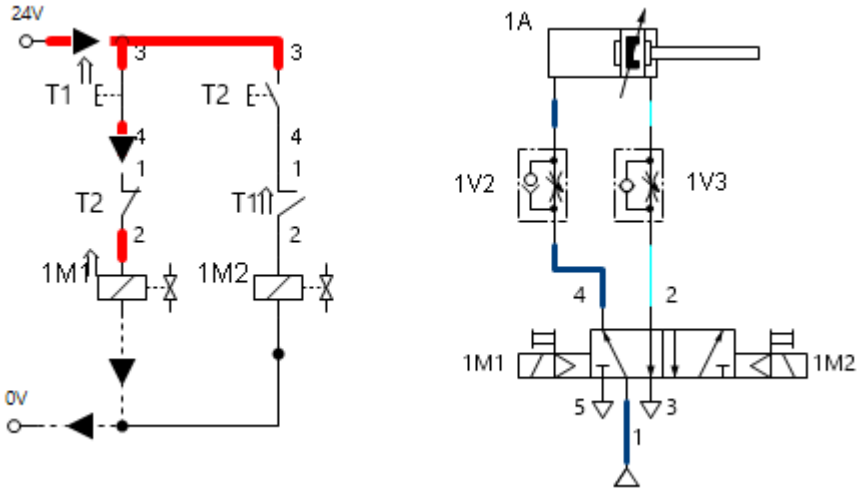


Rys. 10.5. Schemat układu sterowania siłownikiem wysuwającym

Aby przeprowadzić symulację kroków programu, należy przejść do trybu symulacji i kliknąć w przycisk START. Następnie należy poprzez kliknięcie uruchomić przycisk T1, którego wciśnięcie spowoduje przesterowanie zaworu i wysunięcie tłoczyska siłownika 1A. Kliknięcie w przycisk T2 powoduje przesterowanie zaworu i powrót siłownika do pozycji wyjściowej. Stosując kombinację klawiszy Ctrl + mysz lub Shift + mysz, można sprawdzić działanie układu w przypadku jednoczesnego wciśnięcia obydwu przycisków. Należy w trybie symulacji uruchomić przyciski, klikając je myszą i przytrzymując odpowiedni klawisz.

W trakcie symulacji w FluidSIM widoczne są następujące informacje (rys. 10.6):

- Obwód pneumatyczny – linie pokazane w kolorze jasnoniebieskim oznaczają linie niezasilane sprężonym powietrzem, linia pokazana w kolorze ciemnoniebieskim to linia aktualnie znajdująca się pod ciśnieniem.
- Obwód elektryczny – linia pokazana na czerwono reprezentuje część obwodu, który jest aktualnie zamknięty (przewodzi prąd).



Rys. 10.6. Okno symulacji

10.2. Stanowisko transportu i segregowania

10.2.1. Znaczenie techniczne

Przenośniki to systemy techniczne, które znajdują zastosowanie w wielu obszarach produkcji, m.in. przy produkcji dóbr materialnych w przemyśle, budownictwie i rolnictwie. Przenośniki są również wykorzystywane w życiu codziennym. Sprzedawcy wykorzystują przenośniki nie tylko do transportu towarów, np. przy kasach w supermarketach, ale także w postaci schodów ruchomych służących do transportu klientów. Przenośniki na stacjach są wykorzystywane do transportu pasażerów przez stale rozwijające się terminale. Rozwój przenośników związany jest ściśle z uprzemysłowieniem. Na początku do napędzania przenośników wykorzystywano siłę mięśni zwierząt lub ludzi. Wraz z rozwojem energetyki i wynalezieniem silnika elektrycznego ten rodzaj napędu zaczął być stosowany do napędzania przenośników.

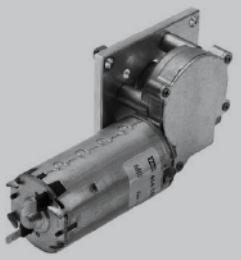
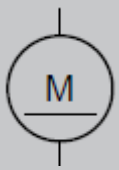
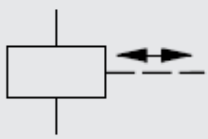
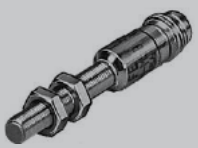
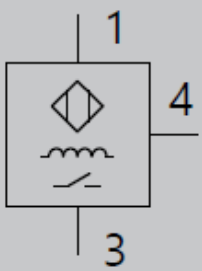
Wprowadzenie systemów transportu zrewolucjonizowało produkcję przemysłową. Nie sposób w tym kontekście nie wspomnieć o Henrym Fordzie, który w 1913 roku wraz z rozwojem linii montażowej i wykorzystaniem jej w produkcji samochodów zapoczątkował

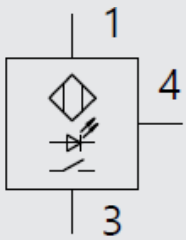
zupełnie nową metodę organizacji pracy. Technologia linii montażowej stworzona przez Henry'ego Forda została udoskonalona i osiągnęła dzisiejszy poziom. Tam, gdzie kiedyś praca fizyczna wymagała ciągłej obecności pracowników, obecnie tę rolę przejmują komputerowe systemy sterowane. Technologia cyfrowa nieustannie otwiera nowe perspektywy dla automatyzacji. Pomimo swojej względnej prostoty konstrukcji, z technicznego punktu widzenia stacja przenośników stanowi pewne wyzwanie.

10.2.2. Elementy stanowiska transportu i segregowania

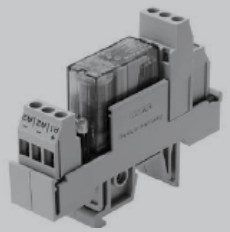
Stanowisko transportu i segregowania składa się z kilku pojedynczych elementów, które można stosować samodzielnie lub łączyć w zależności od realizowanego zadania (rys. 10.7). W tabeli 10.2 wymieniono najważniejsze elementy stacji wraz z ich symbolami.

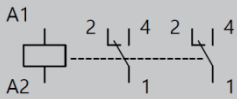
Tabela 10.2. Podstawowe elementy stacji transportu i segregowania

Zdjęcie	Symbol	Opis
		Motoreduktor prądu stałego, służący do napędzania pasów przenośnika. Posiada funkcję zmiany kierunku obrotów
		Elektromagnes może pełnić funkcję: ogranicznika separującego detale i kierującego je do zsuwni lub może zatrzymać detale
		Czujnik indukcyjny służący do wykrycia detali mających zdolność przewodzenia prądu (metalowe lub pokryte metalem)

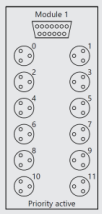


Czujnik fotoelektryczny dyfuzyjny z tłumieniem tła służący do wykrycia części na wejściu do podajnika

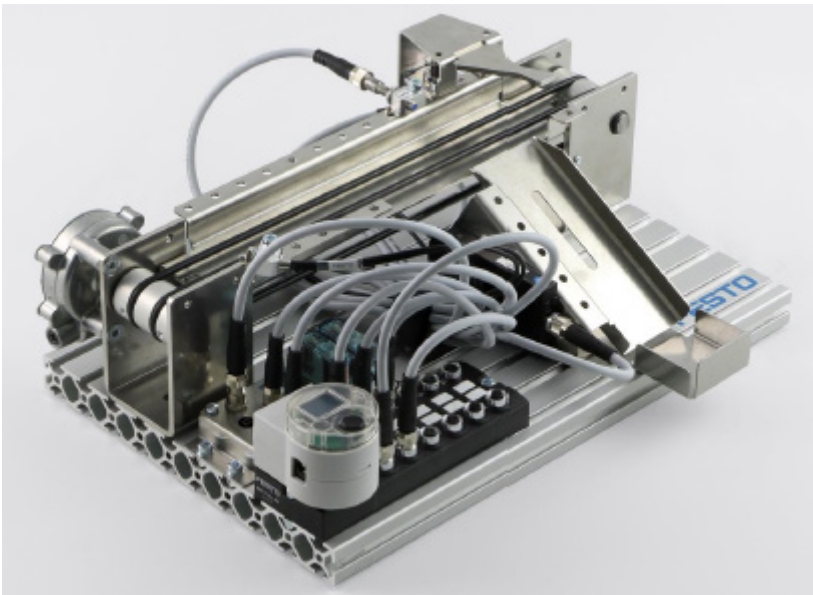




Przekaźnik do uruchamiania silnika i zmiany kierunku pracy



Rozgałęziacz wytykowy wielopinowy do podłączenia komponentów elektrycznych



Rys. 10.7. Stanowisko transportu i segregowania

Istnieje możliwość przebudowania stacji tak, aby mogła pełnić inne zadanie. Jej przeznaczenie zależy przede wszystkim od położenia czujników i elektromagnesu:

- Elektromagnes może pełnić funkcję ogranicznika lub separatora w zależności od tego, po której stronie przenośnika jest zamontowany.
- Czujnik fotoelektryczny reaguje na wszystkie przedmioty odbijające światło, natomiast czujnik indukcyjny reaguje tylko na przedmioty metalowe. Umożliwia to aktywowanie określonych działań systemu w zależności od tego, jaki typ obiektu został wykryty.

W trakcie użytkowania stanowiska należy zwrócić uwagę na właściwe podłączenie sygnałów na rozdzielaczu elektrycznym.

10.2.3. Przykładowe zadanie

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach. Transporter ma być uruchamiany przyciskiem T1 i ma pracować do momentu wyłączenia go przyciskiem T2 lub dostarczenia przedmiotu do końca przenośnika.

Analiza zadania:

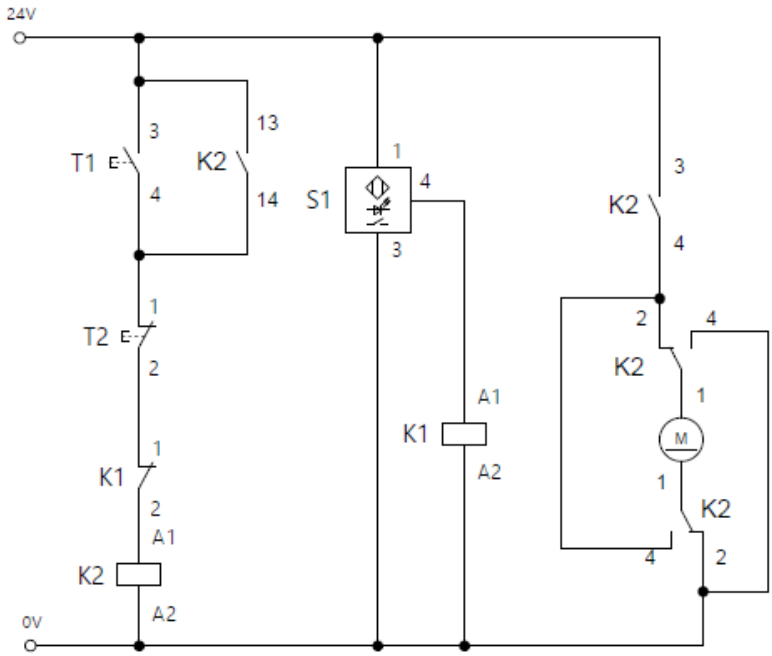
Wciśnięcie przycisku T1 musi spowodować zapamiętanie stanu zestyku, co zapewni układ podtrzymania sygnału elektrycznego. Należy tak skonfigurować przełącznik, aby silnik pracował w kierunku cofania. Zatrzymanie silnika nastąpi po wciśnięciu przycisku T2 lub wykryciu obiektu w obszarze działania czujnika optycznego. Uruchomienie przenośnika będzie możliwe po usunięciu części z końca podajnika.

Wykonanie schematu elektrycznego:

W programie FluidSIM w oparciu o znajomość elementów składowych stanowiska (tab. 10.2) należy opracować schemat połączeniowy elementów układu elektrycznego (rys. 10.8).

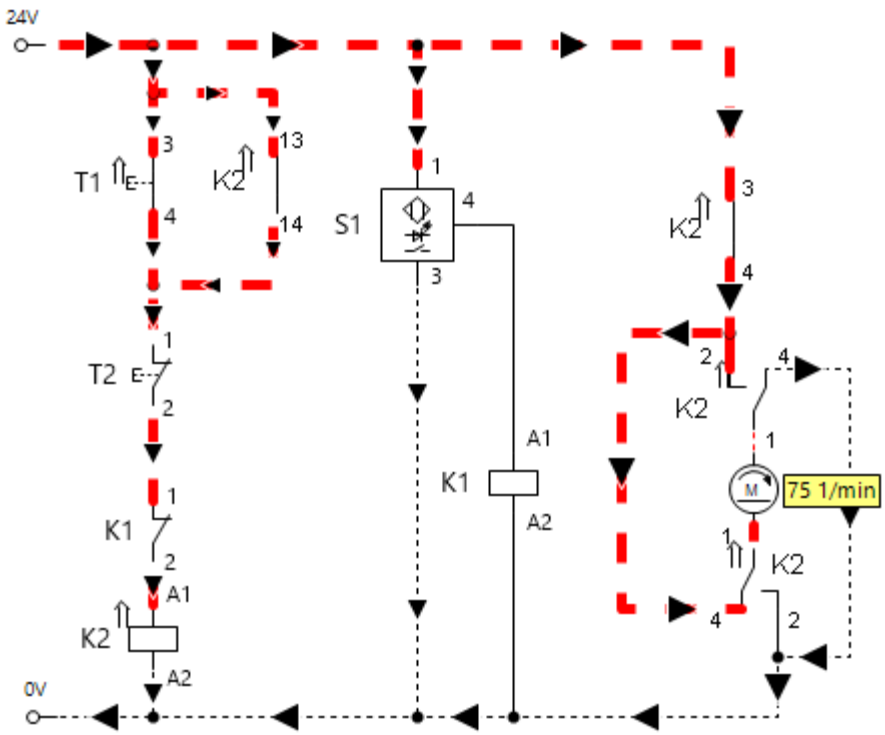
W celu przeprowadzenia symulacji działania programu należy przejść do trybu symulacji i kliknąć w przycisk START. Następnie należy poprzez kliknięcie uruchomić przycisk T1, którego wciśnięcie spowoduje załączenie pracy silnika w wybranym kierunku. Podtrzymanie stanu jest realizowane przez zestyk K2 (NO) połączony równolegle z przyciskiem T1. Kliknięcie w przycisk T2 (NC) powoduje rozłączenie

układu zasilania cewki K2, co w konsekwencji prowadzi do zatrzymania silnika. W przypadku aktywowania czujnika S1 następuje zasilenie cewki K1 i otwarcie zestyku K1 połączonego szeregowo z przyciskiem T2. Zadziałanie czujnika będzie miało takie same konsekwencje, jak wciśnięcie przycisku T2.



Rys. 10.8. Schemat układu sterowania przenośnikiem

W trakcie symulacji w FluidSIM widoczny jest obwód elektryczny (rys. 10.9) – linia pokazana na czerwono reprezentuje część obwodu, który jest aktualnie zamknięty (przewodzi prąd).



Rys. 10.9. Okno symulacji

10.3. Stanowisko przenoszenia

10.3.1. Znaczenie techniczne

Operacje przenoszenia, orientacji i montażu są ważnymi elementami wszystkich zautomatyzowanych systemów montażu. Zadania te realizują zautomatyzowane maszyny manipulacyjne, z których najbardziej znanymi i rozpowszechnionymi są roboty przemysłowe (rys. 10.10).

W celu przeprowadzenia symulacji działania programu należy przejść do trybu symulacji i kliknąć w przycisk START. Następnie należy poprzez kliknięcie uruchomić przycisk T1, którego wciśnięcie spowoduje załączenie pracy silnika w wybranym kierunku. Podtrzymanie stanu jest realizowane przez zestyk K2 (NO) połączony równolegle z przyciskiem T1. Kliknięcie w przycisk T2 (NC) powoduje rozłączenie

układu zasilania cewki K2, co w konsekwencji prowadzi do zatrzymania silnika. W przypadku aktywowania czujnika S1 następuje zasilenie cewki K1 i otwarcie zestyku K1 połączonego szeregowo z przyciskiem T2. Zadziałanie czujnika będzie miało takie same konsekwencje, jak wciśnięcie przycisku T2.

Rys. 10.10. Robot przemysłowy na stanowisku dydaktycznym [9]

Roboty są programowalne i w zależności od typu i przeznaczenia mogą realizować ruch w wielu osiach, co sprawia, że są niezwykle elastycznymi środkami produkcji. Roboty przemysłowe charakteryzują się dużą szybkością i powtarzalnością. Do realizacji wielu zadań montażowych wystarczą prostsze roboty, np. kartezjańskie.

Do podstawowych parametrów opisujących robota należą:

- liczba osi,
- prędkość,
- powtarzalność,
- wielkość przestrzeni roboczej.

W procesie przenoszenia nieodzownymi elementami robota są chwytaki. Istnieje wiele różnych konstrukcji chwytaków:

- Chwytaki mechaniczne z dwoma lub trzema szczękami chwytającymi. Z uwagi na potrzebę dopasowania geometrii elementu chwytającego do chwytanej części szczęki chwytaka muszą być dostosowane do chwytanego przedmiotu.
- Chwytaki podciśnieniowe, które utrzymują detale za pomocą podciśnienia. Nadają się szczególnie do chwytania płaskich przedmiotów o gładkiej powierzchni pozwalającej na utrzymanie szczelności pomiędzy detalem a przyssawką.
- Chwytaki magnetyczne stosowane do chwytania przedmiotów podatnych na działanie pola magnetycznego.
- Chwytaki igłowe, w których elementy mocowane są za pomocą igieł. Są stosowane szczególnie w przemyśle tekstylnym oraz wszędzie tam, gdzie istnieje możliwość oddziaływania na chwytany materiał za pomocą igieł.

Dwuosiowe zautomatyzowane maszyny manipulacyjne są najczęściej używane do przenoszenia detali, nazywane są one również urządzeniami *pick and place*.

10.3.2. Elementy stanowiska przenoszenia

Stacja obsługi składa się z (rys. 10.11): dwóch pneumatycznych siłowników liniowych, chwytaka pneumatycznego, trzech zaworów do sterowania siłownikami pneumatycznymi, czterech magnetycznych czujników zbliżeniowych do wykrywania położenia osi. W tabeli 10.3 wymieniono najważniejsze elementy stacji wraz z ich symbolami.

Stację przenoszenia stanowi dwuosiowe urządzenie manipulacyjne. Stacja ta może wykonywać wiele zadań, takich jak:

- przenoszenie przedmiotu,
- przesuwanie przedmiotu,
- montaż elementu składającego się z podstawy i pokrywy.

W stacji zamontowany jest chwytak podciśnieniowy. Podciśnienie wytwarzane jest przez zwężkę Venturiego, sterowaną zaworem monostabilnym 5/2 z zaślepionym wyjściem 2.

W trakcie użytkowania stanowiska należy zwrócić uwagę na właściwe podłączenie sygnałów na rozdzielaczu elektrycznym.

Tabela 10.3. Podstawowe elementy stacji przenoszenia

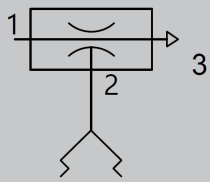
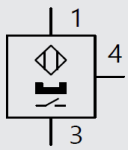
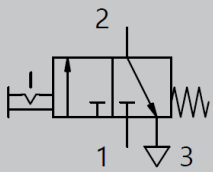
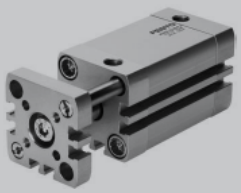
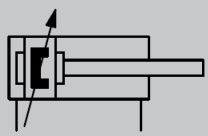
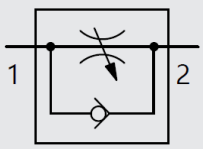
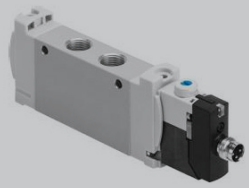
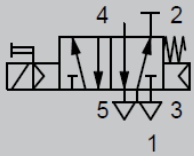
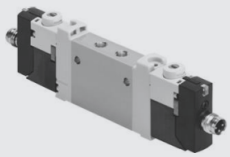
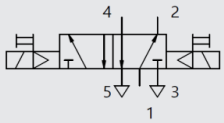
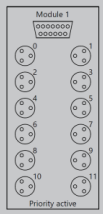
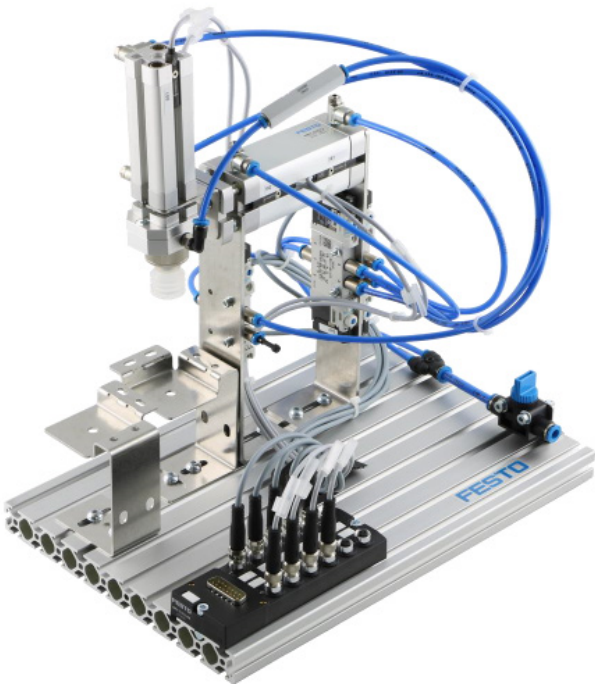
Zdjęcie	Symbol	Opis
		Chwytak podciśnieniowy z generatorem Venturiego
		Magnetyczny czujnik zbliżeniowy do wykrywania położenia tłoka siłownika
		Zawór odcinający 3/2 do odcinania dopływu sprężonego powietrza i odpowietrzania układu
		Łącznik wtykowy typu V
		Siłownik dwustronnego działania z prowadzeniem
		Zawór dławiąco-zwrotny do regulacji prędkości pracy siłowników

Tabela 10.3. Podstawowe elementy stacji przenoszenia

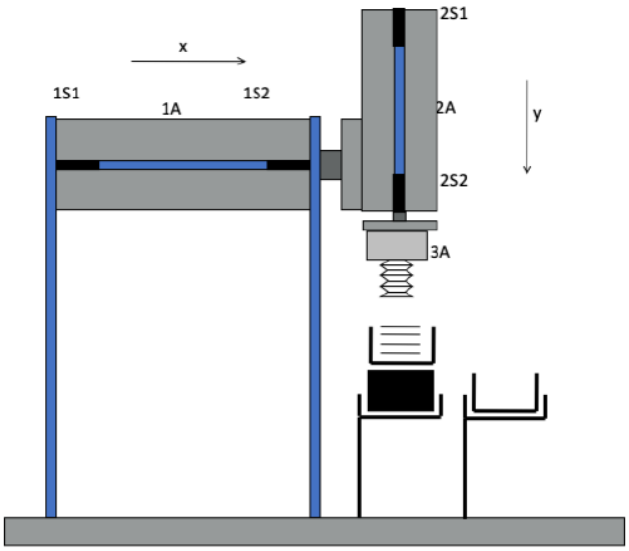
Zdjęcie	Symbol	Opis
		Zawór elektromagnetyczny monostabilny 5/2 z powrotem wspomaganym pilotem
		Zawór elektromagnetyczny bistabilny 5/2
		Rozgałęziacz wtykowy wielopinowy do podłączenia komponentów elektrycznych



Rys. 10.11. Stanowisko pick and place

10.3.3. Przykładowe zadanie

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach. Siłownik w osi Y (rys. 10.12) przenośnika ma być uruchamiany przyciskiem T1. Ma być to możliwe do wykonania tylko wtedy, gdy siłownik znajduje się w tylnym położeniu końcowym. Ponowne wciśnięcie przycisku T1 ma spowodować powrót siłownika do pozycji wyjściowej. Przycisk ma zadziałać tylko wtedy, gdy siłownik osiągnie przednie położenie końcowe.



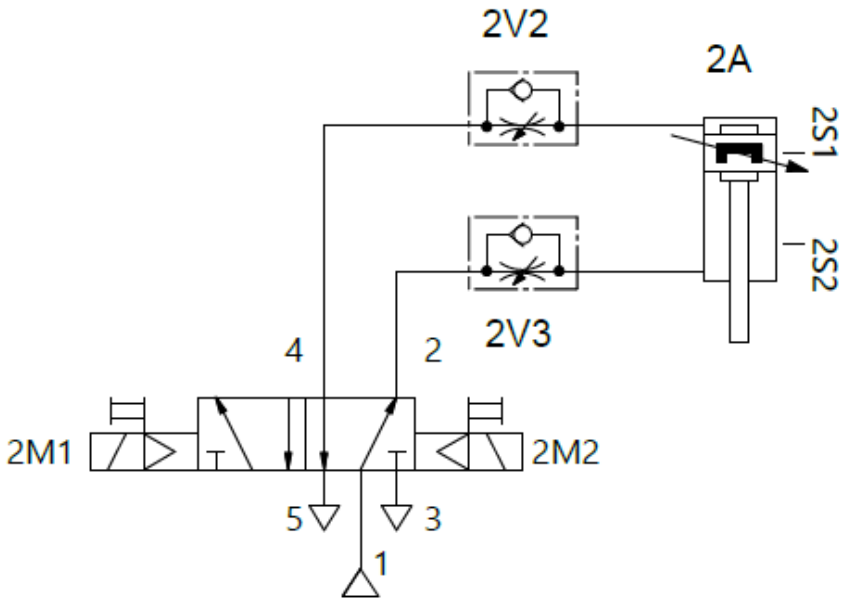
Rys. 10.12. Schemat układu wykonawczego osi Y [9]

Analiza zadania:

Wciśnięcie przycisku T1 musi spowodować zapamiętanie stanu przełączenia, co zapewni zawór bistabilny 5/2. W związku z tym nie wymaga to użycia elementów pamięci w układzie sterowania. Funkcja wysunięcia może być zainicjowana tylko wtedy, gdy tłok siłownika zajmuje określoną pozycję. Zostanie to potwierdzone przez czujnik zbliżeniowy 2S1. Powrót siłownika ma być zrealizowany przez wciśnięcie tego samego przycisku, a to wymaga użycia w programie elementu przełączającego. Powrót siłownika ma być możliwy do zrealizowania tylko wtedy, gdy czujnik 2S2 będzie w stanie wysokim.

Wykonanie schematu pneumatycznego:

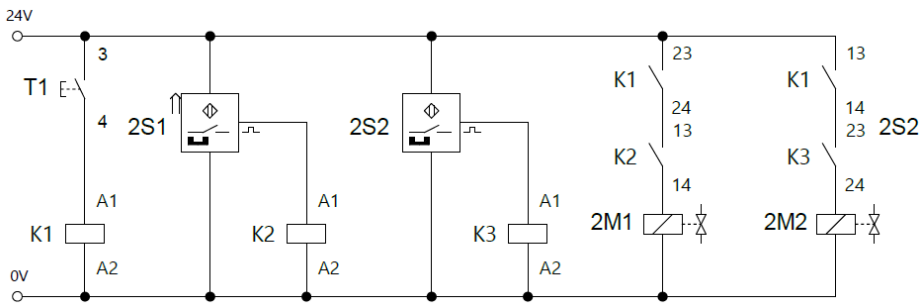
W programie FluidSIM w oparciu o znajomość elementów składowych stanowiska (tab. 10.3) należy opracować schemat połączeniowy elementów układu pneumatycznego (rys. 10.13).



Rys. 10.13. Schemat układu pneumatycznego

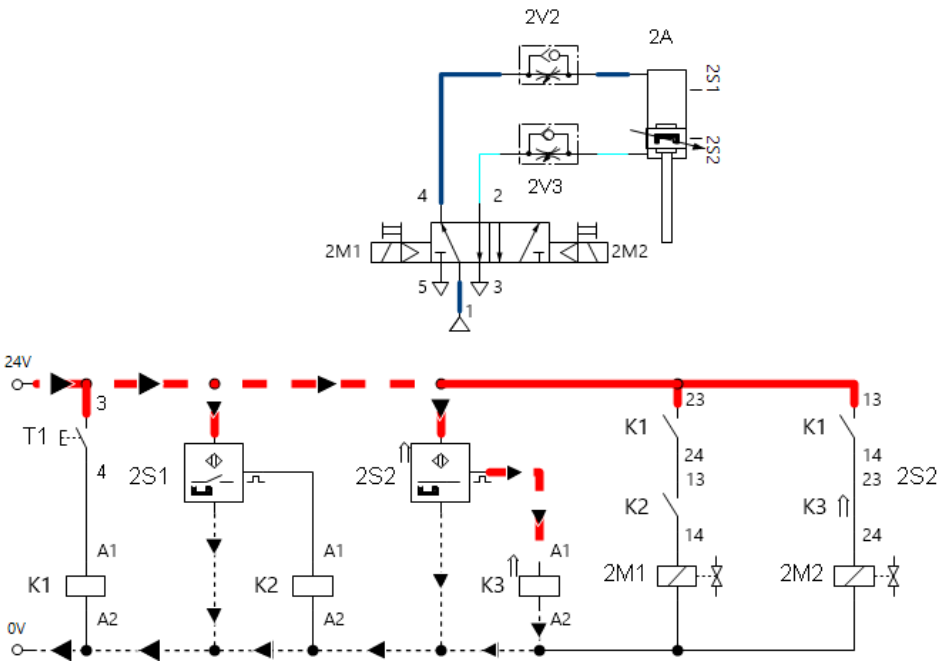
Wykonanie schematu elektrycznego:

W programie FluidSIM, w oparciu o znajomość elementów składowych stanowiska (tab. 10.3), należy opracować schemat połączeniowy elementów układu elektrycznego (rys. 10.14).



Rys. 10.14. Schemat układu sterowania siłownikiem

W celu przeprowadzenia symulacji działania programu należy przejść do trybu symulacji i kliknąć w przycisk START. Następnie należy poprzez kliknięcie uruchomić przycisk T1, którego wciśnięcie spowoduje przesterowanie zaworu i wysunięcie tłoczyska siłownika 2A. Ponowne aktywowanie przycisku T1 powoduje przesterowanie zaworu i powrót siłownika do pozycji wyjściowej. Ponieważ sygnał z czujnika i przycisku T1 są połączone szeregowo, nie ma możliwości przesterowania zaworu bez spełnienia wymaganych warunków.



Rys. 10.15. Okno symulacji

W trakcie symulacji w FluidSIM widoczne są następujące informacje (rys. 10.15):

- Obwód pneumatyczny – linie pokazane w kolorze jasnoniebieskim oznaczają linie niezasilane sprężonym powietrzem, linia pokazana w kolorze ciemnoniebieskim to linia aktualnie znajdująca się pod ciśnieniem.
- Obwód elektryczny – linia pokazana na czerwono reprezentuje część obwodu, który jest aktualnie zamknięty (przewodzi prąd).

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności projektowania i programowania prostych układów funkcjonalnych dla zdefiniowanych warunków pracy.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu,
- zestaw dydaktyczny MacLab.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania FluidSIM. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do realizacji ćwiczenia.

Treść zadania

1) Zaprojektować układ pneumatyczny dla otrzymanego zestawu dydaktycznego odzwierciedlający jego rzeczywisty stan połączeń.
2) Opracować układ sterowania w oparciu o elementy 2)przekaźnikowe realizujący otrzymane zadanie.
3) Przeprowadzić symulację działania układu w środowisku FluidSIM.

Do wyboru przez prowadzącego:

Zadanie 1

Stanowisko magazynowania i montażu

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach realizujący proces wydawania komponentów w taki sposób, aby po naciśnięciu przycisku T1 nastąpiło wypchnięcie jednego przedmiotu z magazynu. Po upływie 3 s suwak ma cię cofnąć do pozycji wyjściowej, a siłownik dociskający ma się opuścić, a następnie po upływie 2 s podnieść. Ponowna aktywacja cyklu ma być możliwa po zakończeniu cyklu poprzedzającego.

Zadanie 2

Stanowisko magazynowania i montażu

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach realizujący proces wydawania komponentów w taki sposób, aby po naciśnięciu przycisku T1 nastąpiło wypchnięcie jednego przedmiotu z magazynu. Po upływie 1 s ma się opuścić siłownik dociskający. Powrót siłowników do pozycji początkowej ma nastąpić po wciśnięciu przycisku T2.

Zadanie 3

Stanowisko magazynowania i montażu

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach realizujący proces wydawania komponentów w taki sposób, aby po naciśnięciu przycisku T1 nastąpiło wypchnięcie jednego przedmiotu z magazynu, a po osiągnięciu przez siłownik pozycji końcowej nastąpił jego automatyczny powrót. Po upływie 2 s od rozpoczęcia powrotu ma się wysunąć siłownik dociskający i po kolejnych 2 s ma powrócić do pozycji początkowej.

Zadanie 4

Stanowisko transportu i segregowania

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach. Transporter ma być uruchamiany poprzez wykrycie części na taśmie. W przypadku wykrycia obiektu metalowego ma być on skierowany na zsuwnię. Części niemetalowe mają być zatrzymane na końcu podajnika poprzez zatrzymanie taśmy. Ponowne uruchomienie taśmy ma być możliwe po wciśnięciu przycisku T1.

Zadanie 5

Stanowisko transportu i segregowania

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach. Transporter ma być uruchamiany przyciskiem T1 w przypadku wykrycia części w strefie załadunku. Części niemetalowe mają być kierowane

na zsuwnię, a części metalowe mają być dalej transportowane aż do opuszczenia transportera po czym transporter ma być zatrzymany.

Zadanie 6

Stanowisko transportu i segregowania

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach. Transporter ma być uruchamiany poprzez wykrycie części w strefie załadowczej. Część ma być transportowana do końca podajnika, po czym ma być zmieniony jego kierunek transportu. Część ma być pozycjonowana na pozycjonerze, po czym podajnik ma być zatrzymany. W czasie pracy układu ma nie być możliwości rozpoczęcia kolejnego cyklu związanego z wprowadzeniem nowej części do układu. Po usunięciu części z pozycjonera, co jest potwierdzane wciśnięciem przycisku T1, stanowisko ma być gotowe do przyjęcia kolejnej części.

Zadanie 7

Stanowisko przenoszenia

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach. Siłownik w osi X przenośnika ma być uruchamiany przyciskiem T1. Ma być to możliwe do wykonania tylko wtedy, gdy siłownik osi Y znajduje się w pozycji wsuniętej, a siłownik osi X znajduje się w pozycji tylnej. Powrót siłownika do pozycji wyjściowej ma być realizowany po wciśnięciu przycisku T2.

Zadanie 8

Stanowisko przenoszenia

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach. Siłownik w osi X przenośnika ma być uruchamiany przyciskiem T1. Rozpoczęcie wysunięcia ma być możliwe tylko wtedy, gdy siłownik osi X znajduje się w pozycji tylnej, a siłownik osi Y w pozycji wsuniętej. Po osiągnięciu pozycji wysuniętej siłownika X ma być uruchomione wysuwanie siłownika Y. Jednoczesny powrót siłowników do pozycji wyjściowej ma być realizowany po wciśnięciu przycisku T2.

Zadanie 9

Stanowisko przenoszenia

Należy zaprojektować układ sterowania oparty na przekaźnikach. Siłownik w osi Y przenośnika ma być uruchamiany przyciskiem T2. Jego wysunięcie ma być możliwe wtedy, gdy siłownik osi X znajduje się w pozycji wysuniętej, a on sam w pozycji tylnej. Wsunięcie siłownika osi Y ma być realizowane poprzez wciśnięcie przycisku T3. Przycisk T1 ma sterować wsuwaniem i wysuwaniem siłownika osi X, ale tylko wtedy, gdy siłownik osi Y jest wsunięty. Jego wciśnięcie ma spowodować wysunięcie siłownika, a powtórne aktywowanie ma spowodować powrót siłownika do pozycji wyjściowej.

Sprawozdanie powinno zawierać:

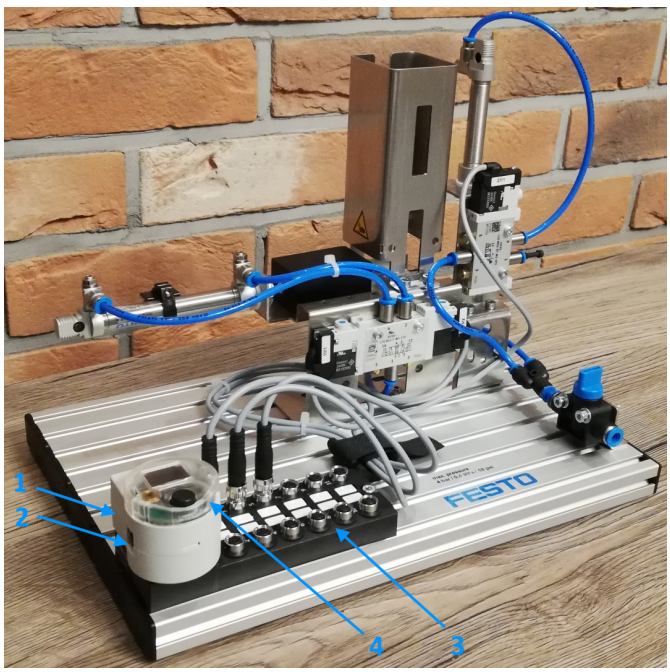
- analizę zadania,
- schematy układów,
- zdjęcia potwierdzające zbudowanie układu,
- opis działania układu sterowania z omówieniem i wnioskami.

ROZDZIAŁ
11

Zestaw dydaktyczny MacLab – programowanie sterownika

Używane na zajęciach stacje MacLab są w pełni zmontowane (rys. 11.1). Aby uruchomić stację należy wykonać następujące kroki:

1) Włożyć moduł interfejsu EasyPort (1) do przeznaczonego do tego gniazda wielopinowego Sub-D rozdzielacza wtykowego (3).
2) Podłączyć zasilacz do EasyPort (2).
3) Podłączyć EasyPort do komputera za pomocą dostarczonego kabla USB (4).
4) Uruchomić program FluidSIM i wczytać przygotowany program.
5) Uruchomić program, klikając na przycisk START w FluidSIM.



Rys. 11.1. Sposób podłączenia EasyPort

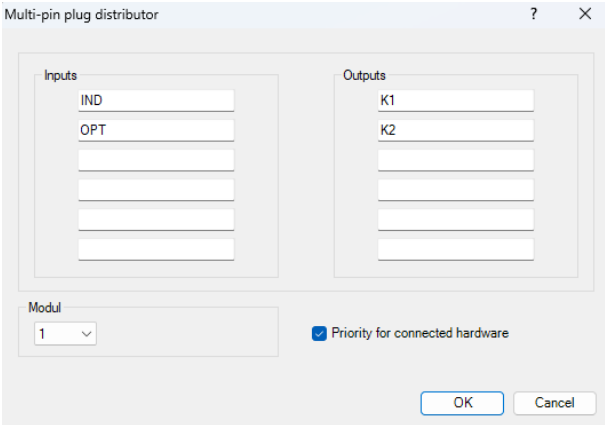
Podczas pracy na zestawach dydaktycznych należy przestrzegać następujących zasad:

- Nie należy przekraczać ciśnienia 400 kPa (4 bar).
- Nie włączać sprężonego powietrza, dopóki wszystkie połączenia przewodów pneumatycznych nie zostaną zabezpieczone.
- Nie odłączać przewodów będących pod ciśnieniem.
- Zachowywać szczególną ostrożność podczas włączania sprężonego powietrza, ponieważ cylindry mogą automatycznie wysuwać się lub cofać.
- Przed demontażem obwodów wyłączyć dopływ sprężonego powietrza.
- Podłączać urządzenie za pomocą elastycznego przewodu o średnicy zewnętrznej 6 mm, w tym celu należy wcisnąć przewód do złącza wtykowego tak głęboko, jak to możliwe.
- W celu demontażu przewodu zasilającego sprężonego powietrza należy nacisnąć niebieski pierścień zwalniający i wyciągnąć rurkę.

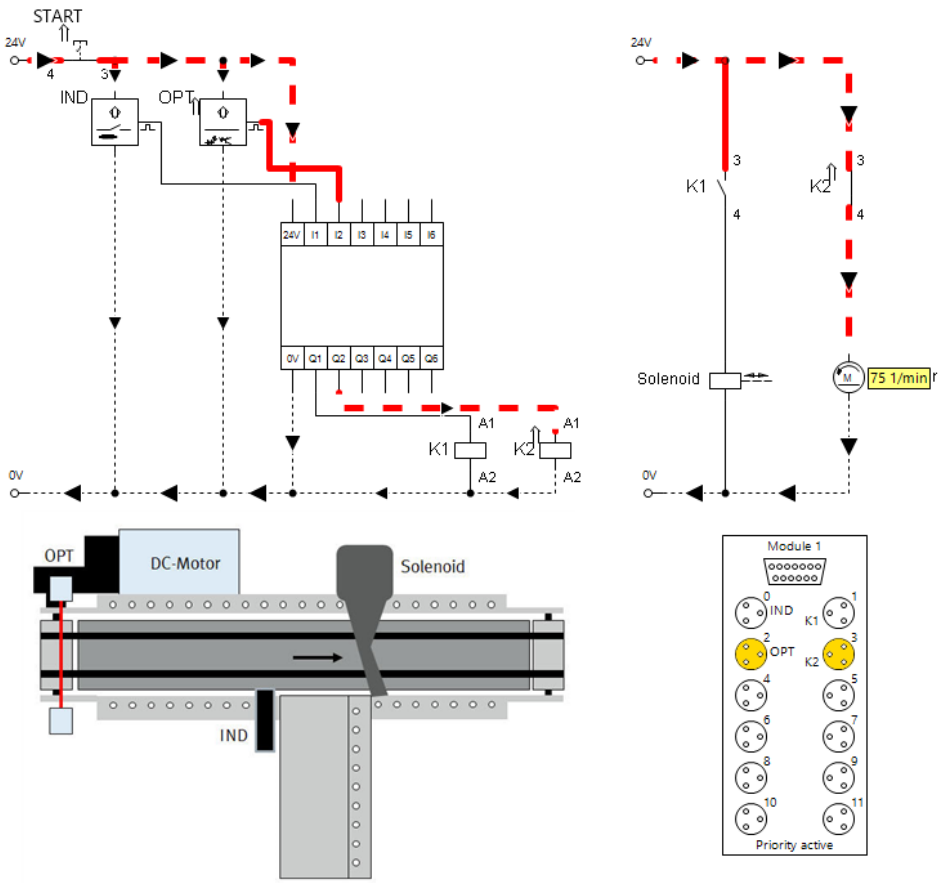
11.1. Komunikacja EasyPort z programem FluidSIM

Warunkiem prawidłowej komunikacji pomiędzy modułem EasyPort a programem jest wprowadzenie do programu bloku rozdzielacza wtykowego i nadanie etykiet w opisie gniazd rozdzielacza. Aby to zrobić, należy dwukrotnie kliknąć na symbol rozdzielacza (rys. 11.2). Etykiety muszą odpowiadać etykietom stosowanym na schematach obwodów pneumatycznych i elektrycznych. Nie ma przy tym znaczenia, jak będą się nazywać etykiety. Ważne jest tylko to, aby na schematach pneumatycznych i elektrycznych tego samego elementu zostały użyte te same oznaczenia i aby element ten był wpięty w odpowiednie gniazdo w rozdzielaczu wtykowym wielopinowym.W przypadku ustanowienia połączenia odpowiednie gniazdo wielopinowe zostanie podświetlone.

W przypadku przedstawionym na rys. 11.3 w momencie rozpoczęcia symulacji po naciśnięciu przycisku START układ zostanie uruchomiony i zacznie realizować program zapisany w sterowniku. Stan kanałów wejściowych i wyjściowych zostanie zasygnalizowany kolorem w symbolu wtyczki wielopinowej. Na stacji na rozdzielaczu wtykowym wielopinowym stan kanałów wejściowych i wyjściowych sygnalizowany jest diodami LED.



Rys. 11.2. Okno dialogowe przypisywania etykiet do wejść i wyjść rozdzielacza wielopinowego



Rys. 11.3. Okno symulacji programu

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności programowania prostych systemów sterowania z wykorzystaniem sterowników programowalnych dla zdefiniowanych warunków pracy.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu,
- zestaw dydaktyczny MacLab.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania FluidSIM. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do wykonania ćwiczenia.

Treść zadania

1) Zaprojektować układ pneumatyczny dla otrzymanego zestawu dydaktycznego odzwierciedlający jego rzeczywisty stan połączeń.
2) Wykonać schemat podłączeniowy do sterownika programowalnego.
3) Napisać program sterujący układem pneumatycznym dla sterownika PLC realizujący zdefiniowaną w zadaniu funkcję.
4) Przeprowadzić symulację działania układu w środowisku FluidSIM.
5) Sprawdzić działanie układu na stanowisku laboratoryjnym.

Do wyboru przez prowadzącego:

Stanowisko magazynowania i montażu

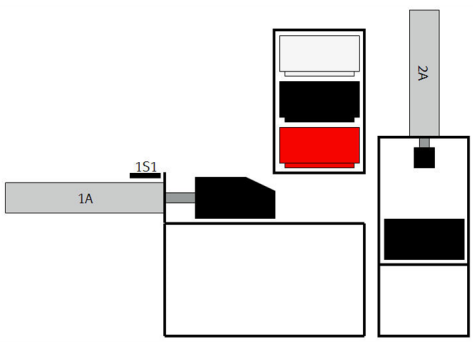


Tabela połączeń rozdzielacza wtykowego

Numer gniazda	Etykieta
0	1S1
1	2M1
3	1M1
5	1M2

Zadanie 1

Stanowisko magazynowania i montażu

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego realizujący proces wydawania komponentów w taki sposób, aby po naciśnięciu przycisku T1 nastąpiło wysunięcie jednego przedmiotu z magazynu. Po wykryciu wysunięcia suwaka ma nastąpić opuszczenie siłownika dociskającego. Po 2 s suwak ma się cofnąć, a siłownik dociskający powrócić do położenia początkowego. W przypadku wykrycia stanu niepożądanego będzie możliwe wciśnięcie przełącznika STOP powodującego natychmiastowe wycofanie wszystkich siłowników.

Zadanie 2

Stanowisko magazynowania i montażu

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego realizujący proces wydawania komponentów w taki sposób, aby po naciśnięciu przycisku T1 nastąpiło wysunięcie jednego przedmiotu z magazynu. Po upływie 1 s siłownik dociskający ma się opuścić, a suwak ma wrócić na pozycję początkową. Powrót siłownika dociskającego ma nastąpić po wciśnięciu przycisku T2. Uruchomienie kolejnego cyklu będzie możliwe po zakończeniu cyklu poprzedzającego.

Zadanie 3

Stanowisko magazynowania i montażu

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego realizujący proces wydawania komponentów w taki sposób, aby po naciśnięciu przycisku T1 po upływie 3 s nastą-

piło wysunięcie jednego przedmiotu z magazynu, a po osiągnięciu przez siłownik pozycji końcowej nastąpił jego automatyczny powrót. Po upływie 2 s od rozpoczęcia powrotu ma nastąpić wysunięcie siłownika dociskającego. Po kolejnych 2 s siłownik dociskający ma powrócić do pozycji początkowej. Ponowne użycie przycisku T1 będzie możliwe po zakończeniu pełnego cyklu.

Stanowisko transportu i segregowania

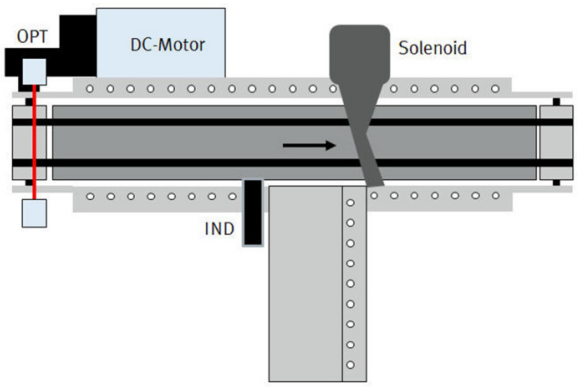


Tabela połączeń rozdzielacza wtykowego

Numer gniazda	Etykieta
0	IND
1	SEL
2	OPT
3	FORWARD
5	INVERT

Zadanie 4

Stanowisko transportu i segregowania

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego. Transporter ma być uruchamiany poprzez wykrycie części na taśmie. W przypadku wykrycia obiektu metalowego ma być on skierowany na zsuwnię. Części niemetalowe mają być zatrzymane na

końcu podajnika poprzez zatrzymanie taśmy. Ponowne uruchomienie taśmy ma być możliwe po wciśnięciu przycisku T1. Wciśnięcie przełącznika STOP spowoduje awaryjne zatrzymanie taśmy.

Zadanie 5

Stanowisko transportu i segregowania

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego. Transporter ma być uruchamiany przyciskiem T1 w przypadku wykrycia części w strefie załadunku. Części niemetalowe mają być kierowane na zsuwnię, a części metalowe mają być dalej transportowane aż do opuszczenia transportera. Po 2 s od opuszczenia przez części transportera ma być on zatrzymany.

Zadanie 6

Stanowisko transportu i segregowania

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego. Transporter ma być uruchamiany poprzez wykrycie części w strefie załadowczej. Część ma być transportowana do końca podajnika, po czym ma być zmieniony jego kierunek, a część ma być pozycjonowana na pozycjonerze, po czym podajnik ma być zatrzymany. W tym czasie ma nie być możliwości rozpoczęcia kolejnego cyklu związanego z wprowadzeniem nowej części do układu. Po usunięciu części z pozycjonera, co jest potwierdzane wciśnięciem przycisku T1, stanowisko ma być gotowe do przyjęcia kolejnej części. Układ sterowania ma być zaopatrzony w przełącznik awaryjnego zatrzymania STOP.

Stanowisko przenoszenia

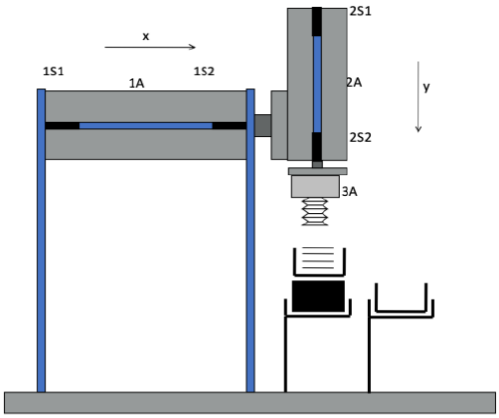


Tabela połączeń rozdzielacza wtykowego

Numer gniazda	Etykieta
0	1S1
1	1M1
2	1S2
3	1M2
4	2S1
5	2M1
6	2S2
7	2M2
9	3M1

Zadanie 7

Stanowisko przenoszenia

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego. Siłownik w osi X przenośnika ma być uruchamiany przyciskiem T1. Ma być to możliwe do wykonania tylko wtedy, gdy siłownik osi Y znajduje się w pozycji wsuniętej, a siłownik osi X znajduje się w pozycji tylnej. Powrót siłownika do pozycji wyjściowej ma

być realizowany po wciśnięciu przycisku T2. Uruchomienie przyssawki ma być realizowane po naciśnięciu przycisku T3. W przypadku wciśnięcia przełącznika STOP układ ma zostać unieruchomiony (należy pamiętać, że wartość logiczna przycisku STOP na wejściu sterownika w trakcie pracy układu powinna wynosić 1).

Zadanie 8

Stanowisko przenoszenia

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego. Siłownik w osi X przenośnika ma być uruchamiany przyciskiem T1. Rozpoczęcie wysunięcia ma być możliwe tylko wtedy, gdy siłownik osi X znajduje się w pozycji tylnej, a siłownik osi Y w pozycji wsuniętej. Po osiągnięciu pozycji wysuniętej siłownika X ma być uruchomione wysuwanie siłownika Y. Jednoczesny powrót siłowników do pozycji wyjściowej ma być realizowany po wciśnięciu przycisku T2 i będzie możliwy do wykonania w dowolnym momencie realizacji procesu.

Zadanie 9

Stanowisko przenoszenia

Należy zaprojektować układ sterowania z wykorzystaniem sterownika programowalnego. Siłownik w osi Y przenośnika ma być uruchamiany przyciskiem T2. Jego wysunięcie ma być możliwe wtedy, gdy siłownik osi X znajduje się w pozycji wysuniętej, a on sam w pozycji tylnej. Wsunięcie siłownika osi Y ma być realizowane przyciskiem T3. Przycisk T1 ma sterować wsuwaniem i wysuwaniem siłownika osi X, ale tylko wtedy, gdy siłownik osi Y jest wsunięty. Jego wciśnięcie ma spowodować wysunięcie siłownika, a powtórne aktywowanie ma spowodować powrót siłownika do pozycji wyjściowej. Wciśnięcie przycisku RESET ma spowodować powrót siłowników do pozycji wejściowej.

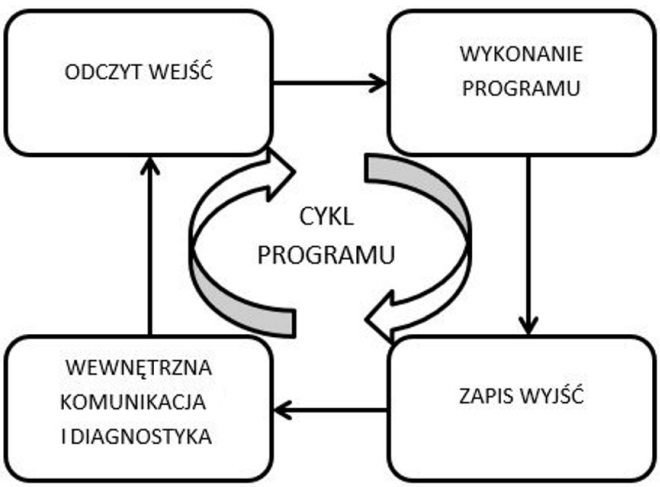
Sprawozdanie powinno zawierać:

- analizę zadania,
- schematy układów,
- zdjęcia potwierdzające zbudowanie układu,
- opis działania układu sterowania z omówieniem i wnioskami.

ROZDZIAŁ 12

Podstawy programowania zaawansowanych sterowników PLC

Sterowniki PLC są układami mikroprocesorowymi, pracującymi pod kontrolą systemu operacyjnego czasu rzeczywistego i realizującymi sterowanie procesem lub obiektem. Procedura sterowania polega na wykonywaniu kolejno następujących czynności (rys. 12.1). Sterownik po uruchomieniu poprzez moduły wejściowe pobiera informacje z elementów pomiarowych zarówno cyfrowych, jak i analogowych. Procedura odczytu wejść pozwala na uzyskanie danych dotyczących stanu i przebiegu automatyzowanego procesu. Na podstawie pozyskanych danych sterownik realizuje program sterowania, który jest zapisany w pamięci sterownika i zawiera odpowiednio zakodowany algorytm procesu sterowania. W wyniku wykonania programu napisanego przez użytkownika sterownik generuje odpowiednie sygnały i przez moduły wyjściowe przesyła je do elementów wykonawczych oddziałujących na proces produkcyjny [19].



Rys. 12.1. Fazy cyklu programowego sterownika PLC

Ogólnie zadania sterowników PLC można sformułować następująco [20]:

- Zbieranie wyników pomiarów za pośrednictwem modułów wejściowych z analogowych i dyskretnych czujników oraz urządzeń pomiarowych.
- Transmitowanie danych za pomocą modułów i łącz komunikacyjnych.
- Wykonywanie programów aplikacyjnych na podstawie przyjętych parametrów i uzyskanych danych o sterowanym procesie lub maszynie.
- Generowanie sygnałów sterujących, zgodnie z wynikami działań tych programów, i przekazywanie ich poprzez moduły wyjściowe, do elementów i urządzeń wykonawczych.
- Realizowanie funkcji diagnostyki programowej i sprzętowej.

Wartości zmiennych procesowych są podawane na wejście sterownika. W oparciu o te wartości obliczane są zmienne sterujące, które stanowią wartości wyjściowe sterownika. Podstawowym zadaniem sterownika jest więc odpowiednie programowe reagowanie na zmiany stanu wejść według przyjętych reguł sterowania lub regulacji. Reakcja sterownika może być zależna od zastosowanych wyników operacji arytmetyczno-logicznych, od jego zmiennych wewnętrznych lub od zaprogramowanych warunków czasowych. Cechą charakterystyczną sterowników PLC jest to, że sposób ich działania zależy wyłącznie od oprogramowania sterownika oraz programu sterującego napisanego w oparciu o przyjęty algorytm sterowania opracowany specjalnie dla danego zadania [2].

Do zalet sterowników PLC należy zaliczyć [2]:

- krótki czas budowy i uruchomienia układu sterowania,
- małą awaryjność układu,
- możliwość szybkiego wprowadzania zmian w algorytmach sterowania bez zmian struktury układu,
- możliwość powielania układów,
- możliwość realizacji złożonych zadań sterowania,
- małe gabaryty układu,
- możliwość przeprowadzania programowej kontroli obwodów wejściowych i wyjściowych,
- możliwość komunikacji z urządzeniami przemysłowymi, panelami operatorskimi, wyświetlaczami, komputerami osobistymi oraz innymi urządzeniami wizualizacyjnymi typu HMI,
- możliwość współpracy z systemami typu SCADA.

Wymienione zalety sterowników sprawiły, że znajdują one zastosowanie prawie we wszystkich gałęziach przemysłu. Oprócz prostych zadań polegających na włączaniu i wyłączaniu różnych urządzeń potrafią one realizować skomplikowane działania, np. pracując jako regulatory PID czy regulatory Fuzzy-logic. Większość sterowników posiada wbudowane algorytmy regulacji, a właściwe oprogramowanie sterownika jest w stanie efektywnie i skutecznie sterować procesami, wpływając na podnoszenie jakości wyrobów [2].

Sterowniki PLC znajdują zastosowanie głównie w przemyśle maszynowym, elektrotechnicznym, a w szczególności obrabiarkach, układach i liniach transportowych, systemach sterowania procesami technologicznymi itp. Przetwórstwo żywności i rolnictwo to dzisiaj obszary, gdzie coraz szerzej są wykorzystywane najnowsze technologie, w tym systemy kontrolno-pomiarowe. Sterowniki PLC mają zdolność mierzenia, monitorowania rejestracji wielu różnych parametrów technicznych i technologicznych, takich jak: prędkość obrotowa, siła, objętość, masa, odległość, temperatura, ciśnienie, czas, wilgotność, stężenie, natężenie przepływu. W wielu procesach parametry te są kontrolowane w celu zapewnienia prawidłowej pracy maszyn i urządzeń oraz osiągnięcia optymalnego przebiegu procesów technologicznych. Również przepisy prawa niejednokrotnie wymagają monitorowania procesów. Współczesne systemy kontrolno-pomiarowe powinny charakteryzować się m.in. następującymi cechami [20]:

- wysoka dokładność i szybkość pomiarów, niezawodność przyrządów, prostota obsługi,
- zdalny pomiar parametrów, cyfrowa transmisja, centralny odczyt,
- łatwe przenoszenie wyników pomiarów do standardowego komputera PC,
- sygnalizacja przekroczenia nastawionych progów alarmowych,
- sygnalizacja stanów awaryjnych,
- prostota i elastyczność oprogramowania,
- modułowość i łatwość rozbudowy systemu,
- autodiagnostyka,
- możliwość jednoczesnego sterowania i regulacji wielu parametrów,
- zaimplementowanie w systemach standardowych procedur pomiaru, transmisji i przechowywania danych oraz sterowania i regulacji,
- łatwość stosowania interfejsów komunikacyjnych i systemów wizualizacyjnych.

12.1. Budowa sterownika PLC

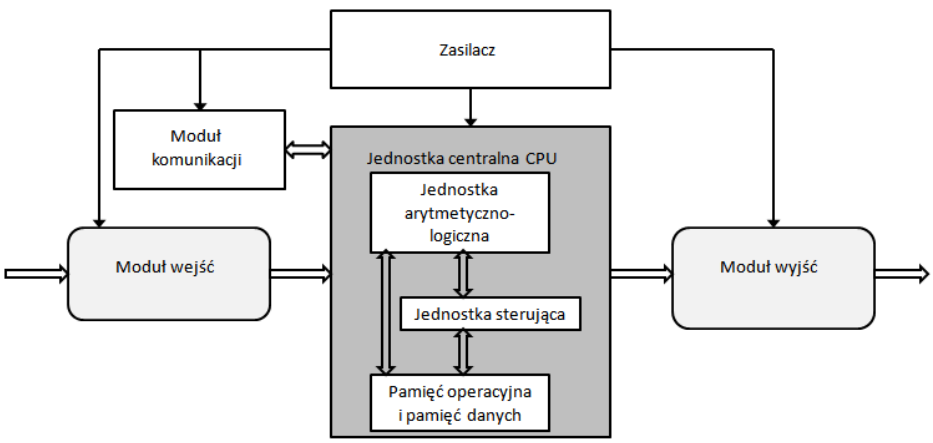
Standardowy sterownik PLC posiada następujące zespoły funkcjonalne (rys. 12.2):

- zasilacz,
- mikroprocesorowa jednostka centralna (CPU),
- pamięć operacyjna typu ROM z systemem operacyjnym zarządzającym działaniem sterownika i pamięć programu typu RAM,
- moduł wejść cyfrowych i analogowych,
- moduł wyjść cyfrowych i analogowych,
- moduł komunikacji,
- moduły specjalne.

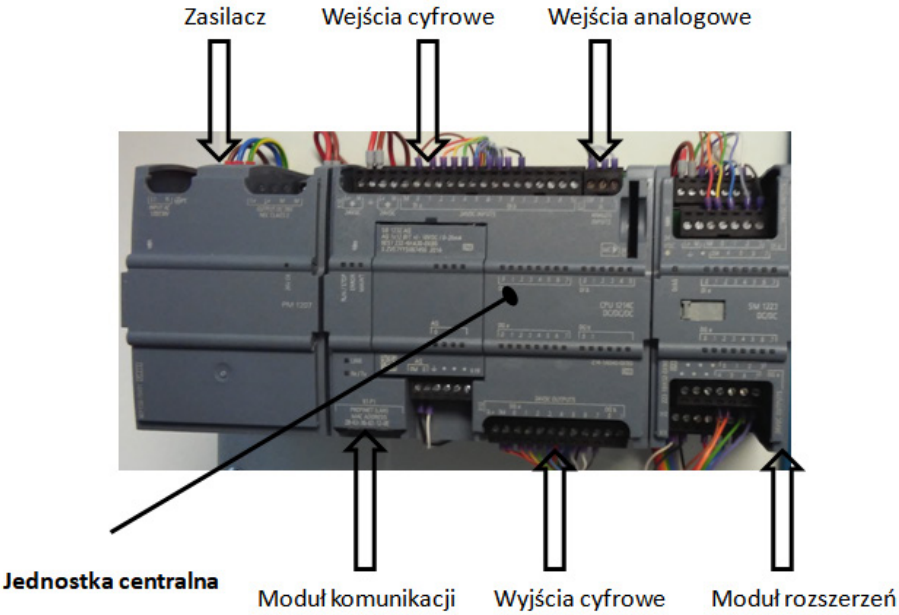
Na rys. 12.3 pokazano widok modułowego sterownika PLC.

Jednostka CPU jest w stanie przetwarzać sygnały cyfrowe. Przetworzenie sygnału ciągłego (analogowego) na sygnał binarny, który to sygnał musi być proporcjonalny do analogowego sygnału wejściowego, wymaga zastosowania odpowiedniego przetwornika. Moduły wejściowe muszą być dostosowane do określonego zakresu sygnałów. Sygnałami wejściowymi dla modułu wejścia analogowego są najczęściej [20]:

- napięcie: 0 do 1 V DC, 0 do 10 V DC, 1 do 5 V DC, -10 do +10 V DC, -5 do +5 V DC oraz napięcie pochodzące z czujników termoelektrycznych,
- prąd: 4 do 20 mA i 0 do 20 mA DC.



Rys. 12.2. Schemat blokowy sterownika PLC



Rys. 12.3. Sterownik PLC S7-1200

Moduły wejściowe analogowe przeznaczone np. do współpracy z czujnikami rezystancyjnymi czy termoelektrycznymi zawierają przetworniki, które dostosowują dostarczany sygnał do parametrów sterownika. Funkcjonowanie tego typu wejść jest możliwe dzięki zastosowaniu w sterownikach przetworników A/C (analogowo-cyfrowych). Wejścia analogowe stosowane są wszędzie tam, gdzie czujniki pomiarowe kontrolujące ciągłe parametry procesu, np.: temperaturę obiektów, ciśnienie płynów, podają na swoim wyjściu sygnały w postaci napięciowej lub prądowej. Do podstawowych parametrów charakteryzujących wejścia analogowe należą [2]:

- zakres prądu lub napięcia wejściowego,
- rozdzielczość,
- dokładność,
- liniowość,
- czas uaktualnienia,
- dokładność bezwzględna.

Moduł wyjść służy do wyprowadzenia sygnałów wyjściowych, które mogą mieć postać sygnałów cyfrowych lub analogowych. Najczęściej spotykanymi wyjściami są wyjścia cyfrowe, które służą do

uruchamiania lub wyłączania elementów lub urządzeń wykonawczych. Wyjścia analogowe są wykorzystywane głównie w układach automatycznej regulacji. Wśród wyjść cyfrowych wyróżnia się wyjścia przekaźnikowe i tranzystorowe. Wyjścia przekaźnikowe charakteryzuje względnie mała częstotliwość załączania z uwagi na występowanie w nich elementów mechanicznych. Zapewniają one pełną separację galwaniczną wewnętrznych układów sterownika i obwodów wejściowych. Charakteryzują się ograniczoną trwałością wynoszącą około 1 mln cykli łączenia. Posiadają zdolność do przenoszenia większych obciążeń prądowych niż przekaźniki tranzystorowe. Wyjście przekaźnika na ogół ma możliwość obciążania do około 2 A. Wyjścia tranzystorowe również zapewniają pełną separację galwaniczną wewnętrznych układów sterownika. Pewne ograniczenie ich stosowania stanowi możliwość podłączania obwodów zasilanych tylko prądem stałym. Możliwość obciążenia ich wyjść z reguły nie przekracza 0,5 A, co powoduje, że bezpośrednie podłączenie elementów wykonawczych jest ograniczone do urządzeń małej mocy [21]. Wyjścia tego typu dają możliwość uzyskania wysokiej częstotliwości przełączania. Posiadają również wysoką trwałość. Wejścia tranzystorowe mogą różnić się również dopuszczalną częstotliwością przełączania .

12.2. Cykl pracy sterownika

Sterownik PLC pracuje zgodnie z zaprojektowanym programem sterującym. Program ten zawiera ciąg znaków logicznych, które sterują pracą urządzenia. Składa on się z rozkazów programowych zapisanych w kolejności wykonywania. Kolejność zapisu rozkazów wynika z zasad programowania, gdyż sterownik wykonuje rozkazy w kolejności wynikającej ze zdefiniowanych adresów. Sterownik realizuje program, cyklicznie powtarzając wykonywanie ustalonego zestawu operacji. Czas opracowania wszystkich poleceń zawartych w danym programie sterowniczym jest nazywany czasem cyklu. Realizacja jednego cyklu programu przez jednostkę centralną sterownika w stanie włączenia przebiega następująco [2]:

- testowanie magistrali, pamięci programu i układów wejście/wyjście, wprowadzenie do pamięci systemowej bieżącego stanu wejść,
- pobranie z pamięci programu rozkazu,

- odczytanie z pamięci systemowej bieżącego stanu wejść,
- przetwarzanie danych zgodnie z programem,
- odświeżanie pamięci obrazu nowego stanu wejść/wyjść,
- podanie stanu wejść do modułu wyjściowego.

Wyróżnia się trzy stany sterownika [22]:

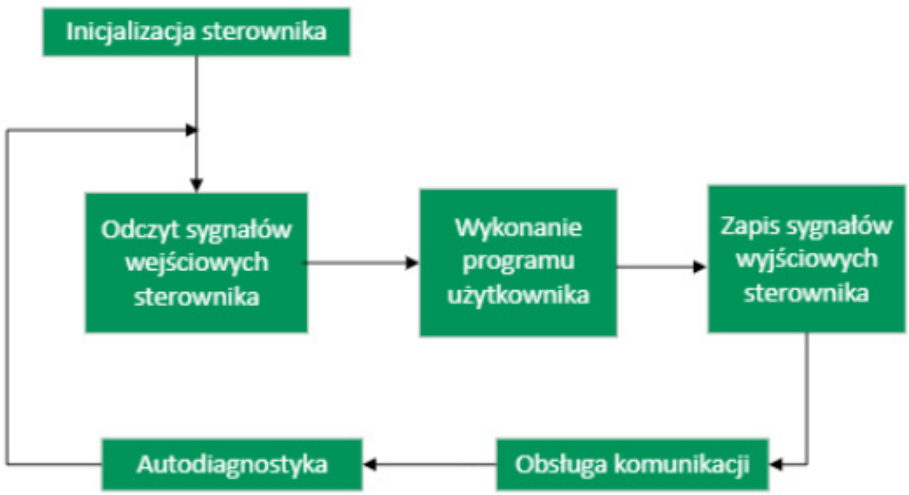
- STOP – w tym stanie nie jest wykonywany program i jest możliwe wprowadzanie do pamięci sterownika nowych programów.
- RUN – w tym stanie sterownik wykonuje program znajdujący się w pamięci sterownika. Nie jest przy tym możliwa ingerencja w algorytm programu ani jego zmiana. Możliwe jest jedynie monitorowanie stanu pracy urządzenia.
- MONITOR – w tym stanie sterownik pracuje jak w stanie RUN, ale jest możliwy dostęp do pamięci sterownika i ingerencja w wartości zadane. Niektóre sterowniki umożliwiają również edycję programu w trybie on-line.

Program sterujący zawierający algorytm sterowania jest sporządzany w większości przypadków przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania na komputerze lub programatorze. Za ich pośrednictwem jest przesyłany do sterownika i zapisywany w jego pamięci. Wprowadzanie nowego oprogramowania jest realizowane w miejscu montażu sterownika lub za pośrednictwem sieci i nie wymaga jego demontażu. Rozkazy znajdujące się w programie sterującym są przetwarzane przez mikroprocesor sterownika. Sposób realizacji przetworzenia danych jest zależny od systemu operacyjnego mikroprocesora zainstalowanego w CPU sterownika [2].

Na początku realizacji każdego programu są sprawdzane stany wejść i wyjść sterownika. Stany te są zapamiętywane w rejestrze pośrednim. W kolejnym kroku wykonywane są rozkazy zapamiętane w pamięci programu. Realizowane jest to poprzez wiązanie ze sobą określonych funkcji logicznych zgodnie z algorytmem programu sterującego. Po opracowaniu wszystkich przewidzianych w algorytmie rozkazów, końcowe wyniki wykonanych funkcji logicznych są przesyłane do rejestru wyjściowego, gdzie następuje przypisanie ich do odpowiednich wyjść sterownika. Wyjścia połączone z członami wykonawczymi wpływają na zmianę ich stanów, co z kolei wpływa na zachowanie się obiektu sterowania. Po uzyskaniu aktualnych stanów operatorów zapamiętanych w rejestrze pośrednim następuje proces ponownego opracowania rozkazów. Jeśli sterownik podłączony jest do

sieci z innymi sterownikami, to poprzez moduł komunikacji następuje wymiana informacji lub ewentualna aktualizacja programu sterowniczego. Autodiagnostyka jest ostatnią fazą cyklu pracy sterownika. W trakcie jej wykonywania zbierane są raporty o błędach, stanach połączeń czy wartościach napięć w układach zasilania. Uproszczony cykl pracy sterownika przedstawiono na rys. 12.4 [2]. Sterownik PLC realizuje program w czasie rzeczywistym. Jego szybkość przetwarzania danych musi być odpowiednio duża, aby nie wpływało to na realizowany proces. Również kolejność wykonywania działań może mieć wpływ na sterowany obiekt. Należy pamiętać, że sekwencyjna zasada pracy sterownika wyklucza możliwość jednoczesnego wykonywania dwóch poleceń. To powoduje, że pisząc program sterowniczy, należy właściwie ustalić kolejność przetwarzania sygnałów, tak aby była ona dostosowana do algorytmu działania sterowanego obiektu lub procesu.

Do programowania sterownika PLC najczęściej wykorzystuje się komputer, na którym zainstalowane jest specjalistyczne środowisko programistyczne. Producenci oferują różne środowiska odpowiednio dostosowane do ich sterowników.



Rys. 12.4. Cykl pracy sterownika [23]

Do połączenia komputera ze sterownikiem używa się portów komunikacyjnych. Obecnie najczęściej wykorzystuje się porty USB lub Ethernet. Dzięki temu połączeniu możliwa jest komunikacja między

komputerem a sterownikiem oraz przesyłanie programu czy wykonywanie zmian w konfiguracji.

Programowanie sterownika PLC odbywa się za pośrednictwem języków tekstowych lub graficznych. Najpopularniejsze języki programowania to:

- LD – schemat drabinkowy (ang. *ladder diagram*), jeden z pierwszych języków, przypominający schemat elektryczny.
- ST – tekst strukturalny (ang. *structured text*), podobny do języka C, składający się w całości z poleceń tekstowych.
- FBD – funkcjonalny schemat blokowy (ang. *functional block diagram*), bazujący na odwzorowywaniu przepływu sygnału pomiędzy blokami funkcyjnymi, funkcjami oraz bramkami logicznymi.
- IL – lista instrukcji (ang. *instruction list*), składający się z zestawu instrukcji, łatwych do zapamiętania i analizy.
- SFC – sekwencyjny schemat funkcjonalny (ang. *sequential function chart*), opisujący zadania w sposób graficzny, za pomocą kroków i warunków, które regulują przejścia między krokami.

12.3. Oprogramowanie TIA Portal – konfiguracja sterownika

Budowę nowego projektu dla sterowników PLC w TIA Portal można podzielić na dwie części:

1. Konfiguracja sprzętowa:
   - wybranie sterownika PLC,
   - nadanie adresu IP dla sterownika,
   - ustawienie adresów fizycznych dla wejść oraz wyjść cyfrowych,
   - inne ustawienia.
2. Napisanie kodu programu:
   - utworzenie nazw symbolicznych dla adresów fizycznych,
   - wybranie języka programowania.

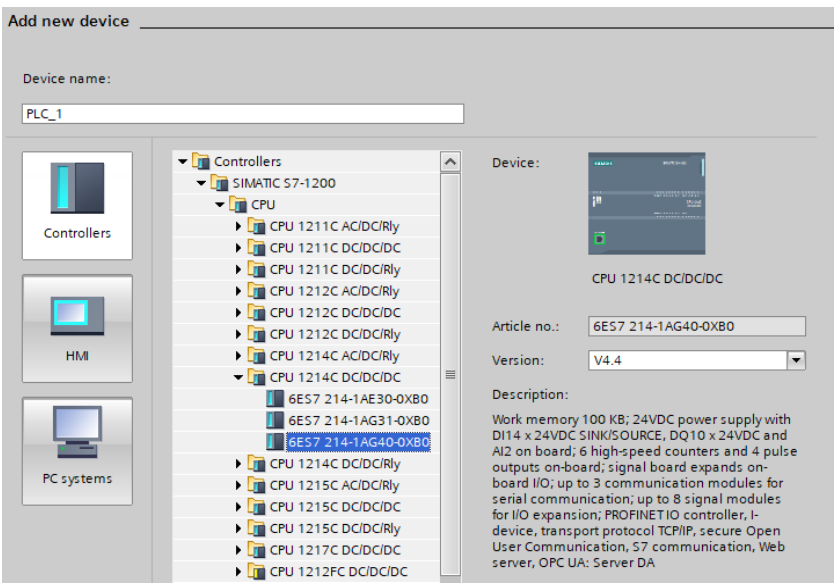
W celu utworzenia nowego projektu dla sterownika należy:

- uruchomić program ***TIA Portal***,
- wybrać ***Create new Project***,
- wpisać nazwę projektu, wybrać folder, gdzie projekt ma być zapisany,
- wybrać ***Configure a device***,
- wybrać ***Add new device*** → ***Controllers*** → ***SIMATIC S7 1200***,

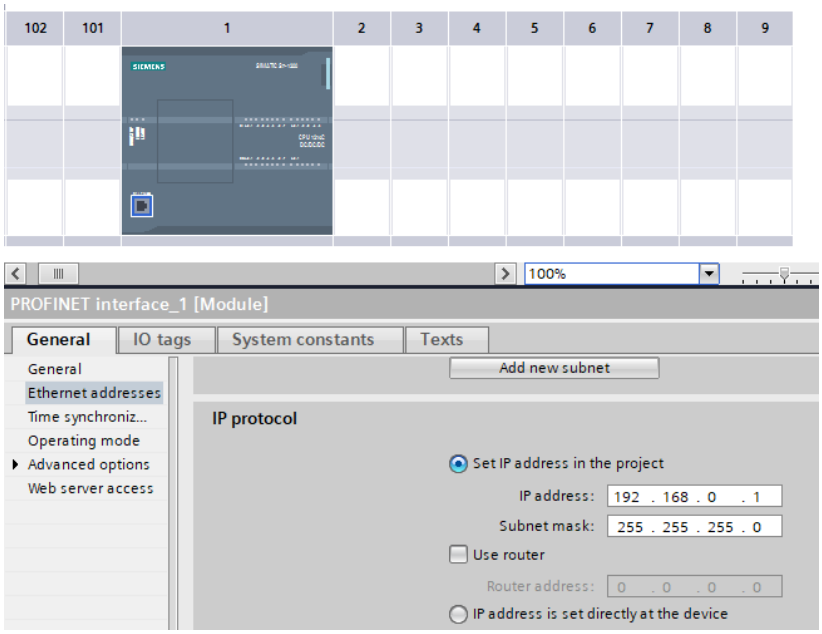
- wybrać sterownik, zwracając uwagę na prawidłową wersję Firmware'u ***6ES7 214-1AG40-0XB0*** (rys. 12.5),
- poprzez podwójne kliknięcie na symbol gniazda ***RJ*** ustawić jego adres na zgodny ze sterownikiem fizycznym (rys.12.6) – to działanie nie jest wymagane w przypadku korzystania z symulatora,
- wybrać ***Project tree*** → ***PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC]*** → ***PLC tags*** → ***Show all tags***,
- wpisać wszystkie wymagane zmienne zgodnie z wymaganiami programu,
- ustawić adres fizyczny dla wejść i wyjść cyfrowych w zakładce ***Device Overview*** (rys. 12.7) – należy zostawić domyślne 0 dla wejść i 0 dla wyjść.

Po wykonaniu tych punktów należy wgrać konfigurację do sterownika. Ponieważ w trakcie zajęć używany będzie symulator wirtualnego sterownika PLC, należy go w tym momencie uruchomić. W tym celu trzeba:

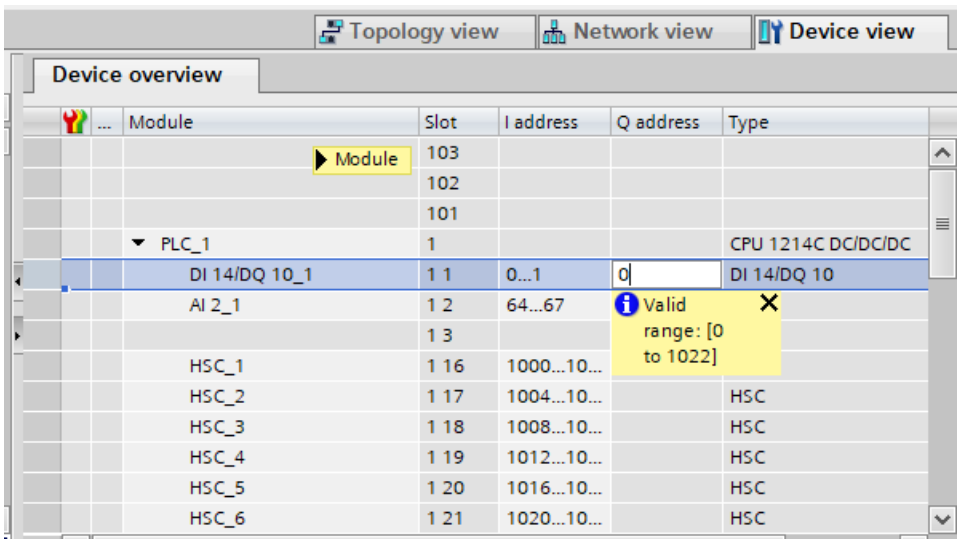
- Wybrać ***Online*** → ***Simulation*** → ***Start*** (rys. 12.8).
- Wyświetlone zostanie nowe okno (rys. 12.9) umożliwiające zarządzanie stanem sterownika wirtualnego, wyświetli się również okno umożliwiające nawiązanie połączenia online ze sterownikiem.



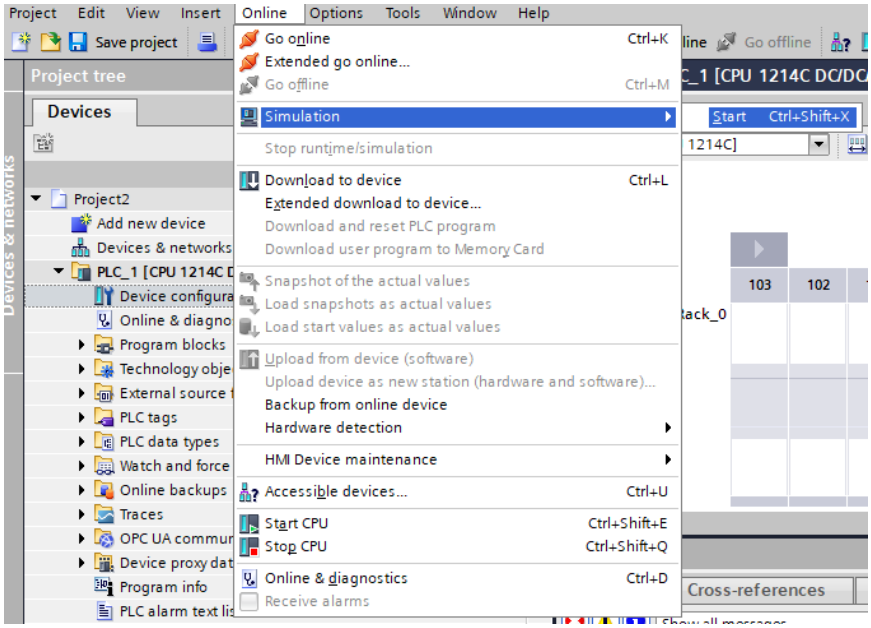
Rys. 12.5. Okno wyboru sterownika



Rys. 12.6. Okno konfiguracji adresu IP sterownika

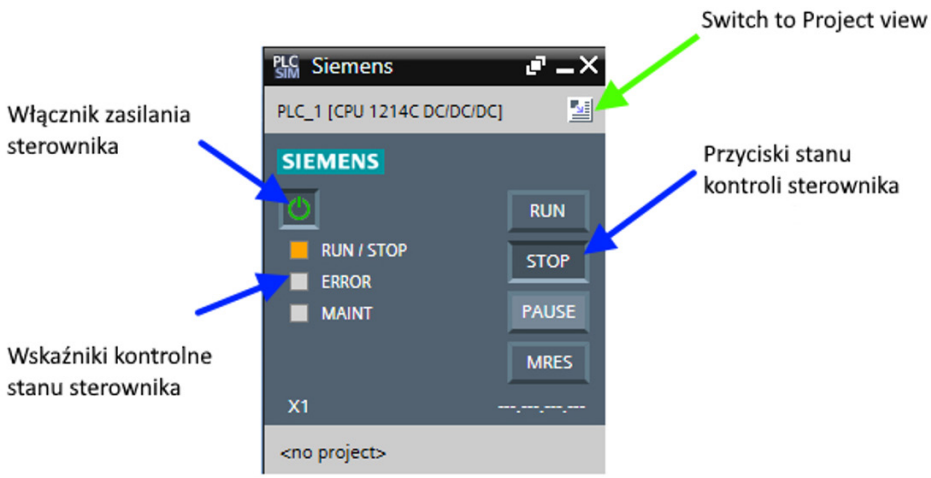


Rys. 12.7. Konfiguracja adresów dla wejść i wyjść cyfrowych

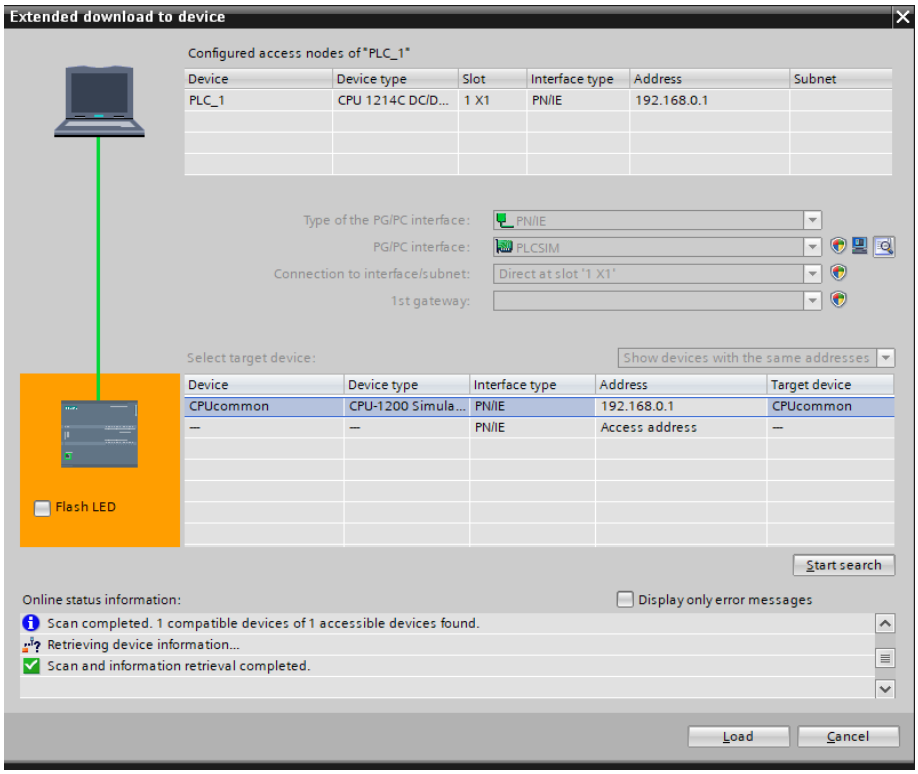


Rys. 12.8. Procedura uruchomienia sterownika wirtualnego

- Należy wybrać ***Start serach***, zaznaczyć sterownik z listy i potwierdzić przyciskiem ***Load*** (rys.12.10), co spowoduje wgranie do wirtualnego sterownika aktualnej konfiguracji sprzętowej.
- Jeśli w procedurze uruchamiania nie wybrano automatycznego startu sterownika, należy w oknie symulatora (rys. 12.9) aktywować przycisk ***RUN***.



Rys. 12.9. Panel sterownika wirtualnego



Rys. 12.10. Okno łączenia sterownika z programem

12.4. Programowanie sterowników w języku LD

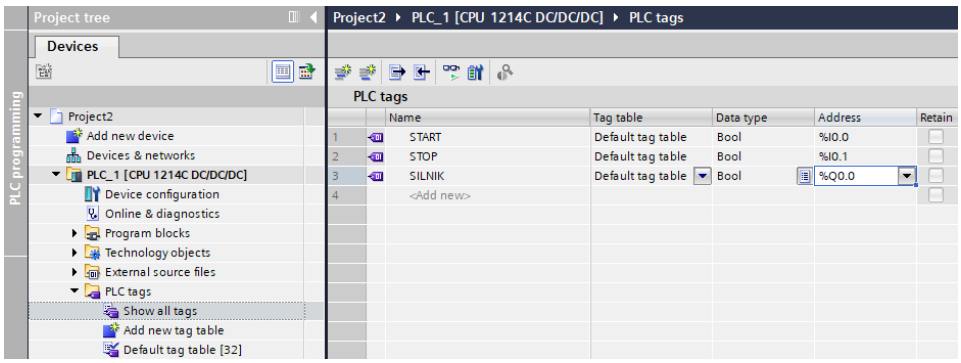
Przejrzystość napisanego programu, jak i komfort pracy programisty w dużym stopniu zależą od zastosowanych sposobów adresowania wejść i wyjść. W zaawansowanych sterownikach PLC można wyróżnić dwa sposoby adresowania:

- absolutne (bezpośrednie),
- symboliczne.

Adresowanie symboliczne stosuje się szczególnie tam, gdzie występuje duża liczba wejść/wyjść. Adresowanie to pozwala bowiem na nadawanie własnych nazw wejściom i wyjściom, co znacząco ułatwia właściwe zrozumienie zasady działania programu. Każde wejście i wyjście fizyczne sterownika ma przypisany adres absolutny, wynikający

ze zdefiniowanej konfiguracji sterownika (rys. 12.6). Adresy te mogą być zastępowane nazwami symbolicznymi.

Chcąc wykorzystywać adresowanie symboliczne, najlepiej jest je utworzyć na początku pisania programu. Nazwy symboliczne nadaje się w tablicach ***PLC tags***. W tym celu należy wybrać ***Project tree*** → ***PLC_1*** [model sterownika] → ***PLC tags*** → ***Show all tags***. Na rys. 12.11 przedstawiono przykład dodania trzech adresów symbolicznych START, STOP, SILNIK.



Rys. 12.11. Okno adresowania symbolicznego

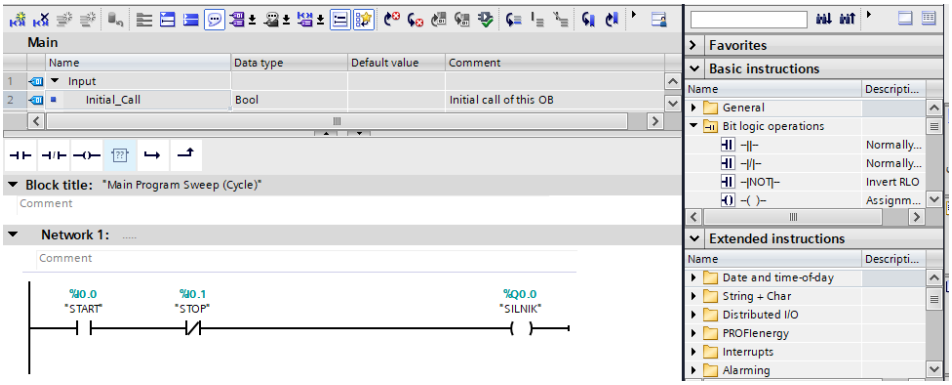
Z opisu adresów wynika, że sygnał reprezentowany przez START jest podpięty do wejścia o oznaczeniu I0.0, STOP do wejścia I0.1 zaś SILNIK do wyjścia Q0.0. Ponieważ do przeprowadzania np. obliczeń nie wystarczy typ danych Bool (jeden bit – stan 0, 1), istnieje możliwość definiowania również innych typów zmiennych [17].

W oprogramowaniu TIA Portal dostępne są trzy języki programowania sterowników:

- LD (*ladder diagram*) – język schematów drabinkowych (LAD),
- ST (*structured text*) – język list instrukcji (SCL),
- FBD (*function block diagram*) – język logicznych bloków funkcyjnych.

Przykładowy kod programu zostanie napisany w bloku ***Main [OB1]***. W tym celu należy wybrać ***Project tree*** → ***Program blocks*** → ***Main [OB1]*** (rys. 12.12). Najczęściej używane elementy języka LAD należy wyszukiwać w ***Favorites*** lub w bibliotece ***Basic instructions*** → ***Bit logic operations***. Umieszczenie ich w linii programu realizuje się przez przeciągnięcie i opuszczenie w odpowiednim miejscu zgodnie z przyjętą logiką działania. Nazwę elementu należy wpisać po jego zaznaczeniu.

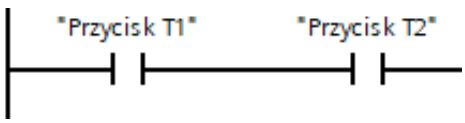
Po wpisaniu pierwszej litery program podpowie, jakie elementy mogą być zastosowane.



Rys. 12.12. Okno bloku Main

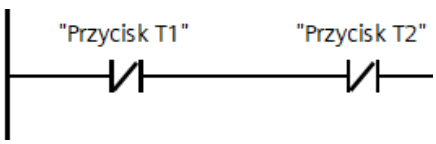
Do najczęściej stosowanych elementów schematów drabinkowych (LD) należą:

- Styk normalnie otwarty (NO) (rys. 12.13).
  Styk normalnie otwarty (NO) nie podaje na wyjście sygnału (logicznej „1”), dopóki nie zostanie aktywowany.



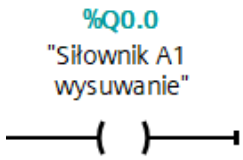
Rys. 12.13. Schemat obwodu ze stykami NO

- Styk normalnie zamknięty (NC) (rys.12.14).
  Styk normalnie zamknięty (NC) jest negacją styku NO, co oznacza, że gdy nie jest aktywowany, podaje na wyjście układu sygnał. W momencie jego aktywowania obwód zostaje otwarty.
  W języku programowania LD pojęcia styku nie należy utożsamiać z konkretnym elementem, gdyż stanowi to pojęcie ogólne. Ze stykiem może być związana dowolna zmienna programowa.



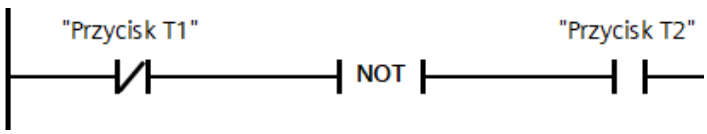
Rys. 12.14. Schemat obwodu ze stykami NC

- Cewka – tak jak w przypadku styku pojęcie cewki nie odnosi się do fizycznych cewek umieszczonych na wyjściu sterownika w układach wykonawczych.
  Cewka umożliwia przypisanie stanu wyjściowego programowanego obwodu połączeń elektrycznych sterownika do konkretnej zmiennej ustalonej w tym obwodzie. W prezentowanym na rys. 12.15 obwodzie jest ona związana ze zmienną Siłownik A1 wysuwanie i jest to jednocześnie stan wyjścia fizycznego Q0.0.



Rys. 12.15. Reprezentacja graficzna cewki

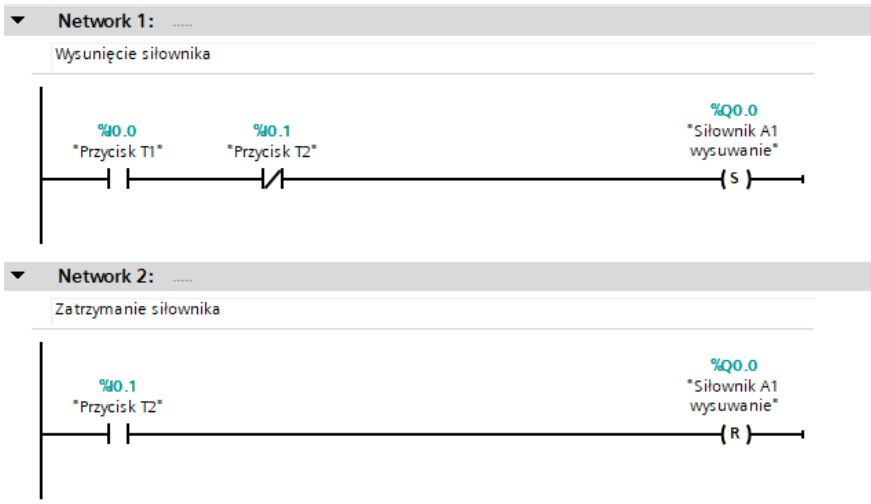
- Funkcja NOT – służy do zanegowania stanu logicznego, jaki występuje na wejściu elementu. Jedynka logiczna jest zamieniana na zero i odwrotnie (rys.12.16).



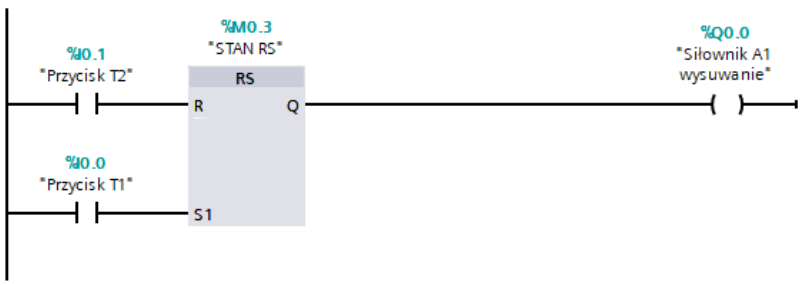
Rys. 12.16. Przykład zastosowania negacji w obwodzie programowym

- Przerzutnik – w języku LD przerzutnik występuje w dwóch formach symbolicznych bloku lub cewki. Posiada też dwie odmiany funkcjonalne RS (z dominującym wejściem S) i SR (z dominującym wejściem R).
  W przypadku stosowania przerzutnika w postaci cewki R i S należy używać poszczególnych wejść rozłącznie w osobnych liniach programu (rys. 12.17). Przerzutnik zapisywany w postaci bloku zajmuje jedną linię programu, wymaga jednak deklaracji dodatkowej zmiennej wewnętrznej (bit pamięci M) w celu zapamiętania stanu przerzutnika (rys. 12.18).
- Detektory zbocza – układy detekcji zbocza nie realizują funkcji logicznych na sygnałach, ale badają, czy wystąpiła zmiana stanu logicznego sygnału wchodzącego do detektora. Elementy te występują w postaci cewek, jak i bloków.

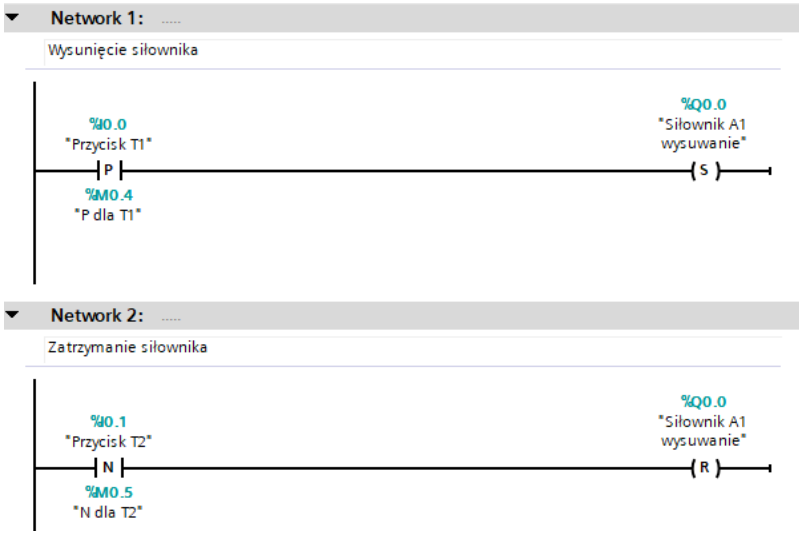
Kiedy stan logiczny obwodu zmienia się z jedynki na zero, mówi się o zboczu opadającym (negatywnym N), natomiast w odwrotnym przypadku mówi się o zboczu narastającym (pozytywnym P). Układ detektora w przypadku wykrycia odpowiedniego zbocza sygnału logicznego wytwarza na swoim wyjściu sygnał w postaci jedynki logicznej. Użycie detektorów wymaga zadeklarowania zmiennej wewnętrznej w postaci pamięci stanu (rys. 12.19).



Rys. 12.17. Przykład zastosowania przerzutnika w postaci dwóch cewek (SR)

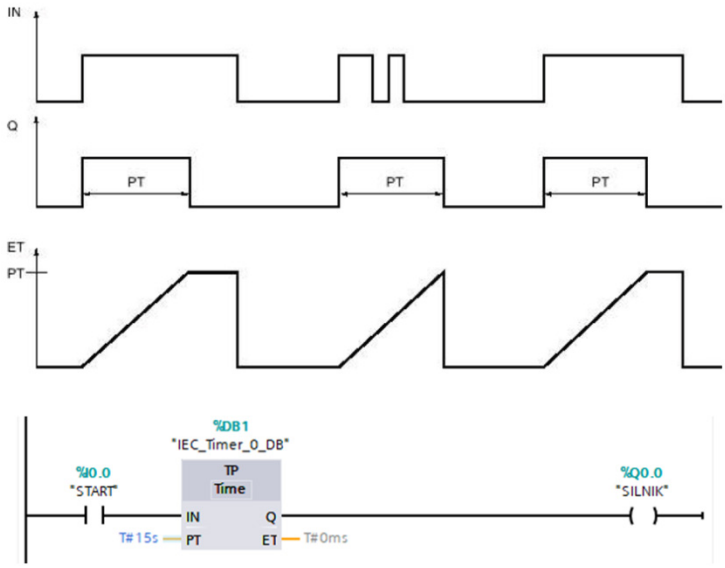


Rys. 12.18. Przykład zastosowania przerzutnika RS



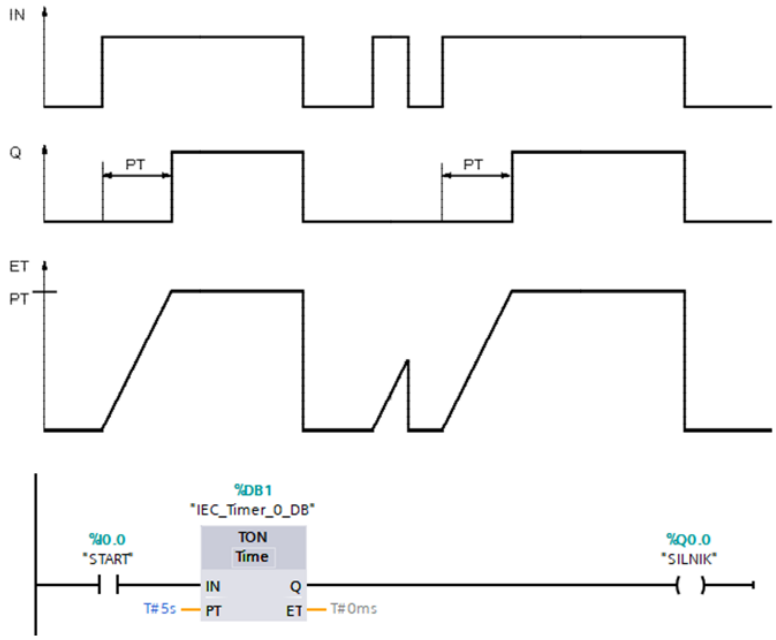
Rys. 12.19. Przykład wykorzystania przycisków z detekcją zbocza

- Układy czasowe – w TIA Portal dostępne są 4 rodzaje timerów: TP, TON, TOF, TONR.
  Deklarację czasu realizuje się w określonym formacie R#...h-...m...s...ms, gdzie oznaczenia literowe wskazują na jednostkę miary czasu. Wszystkie składniki formatu czasu są opcjonalne, co oznacza, że można je pominąć, jeśli ich wartość wynosi zero. Każdy z układów czasowych wymaga podania sygnału inicjującego jego działanie na wejście IN timera.
  Schemat działania:
  - TP – Po załączeniu (nawet chwilowym) I0.0, na wyjściu Q0.0 pojawi się impuls o czasie trwania PT. W pokazanym na rys. 12.20 przykładzie po aktywowaniu przycisku START zmienna wyjściowa SILNIK przyjmie stan jeden, który będzie trwał przez 15 s niezależnie od stanu wejścia.

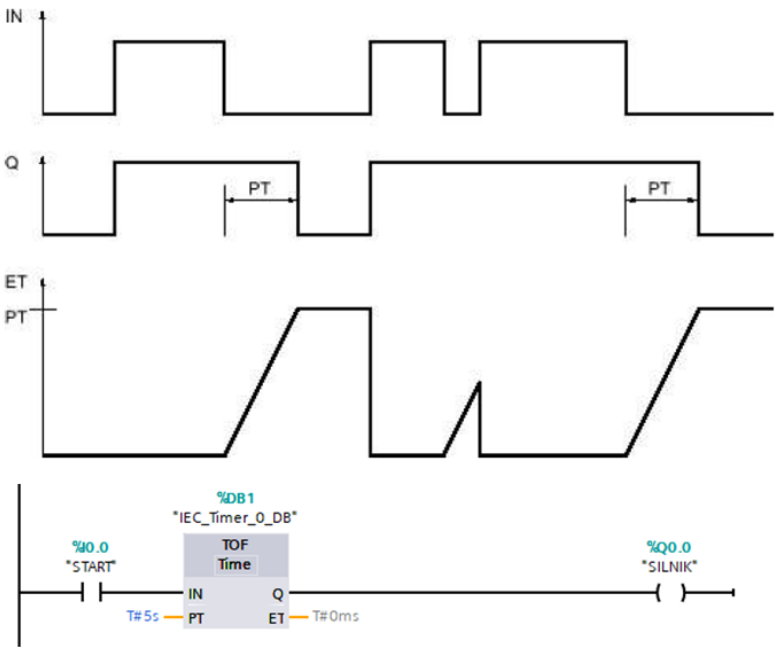


Rys. 12.20. Schemat działania układu czasowego TP

- TON – Po załączeniu I0.0, na wyjściu Q0.0 pojawi się stan „1” opóźniony o czas PT. Zmiana IN na „0” podczas pracy timera kasuje i zatrzymuje timer. W pokazanym na rys. 12.21 przykładzie po aktywowaniu przycisku START zmienna wyjściowa przyjmie stan jeden po upływie 5 s, pod warunkiem, że stan wejścia START będzie wysoki. Zmienna wyjściowa przyjmie stan niski po dezaktywowaniu przycisku START.
- TOF – Po wyłączeniu I0.0, na wyjściu Q0.0 pojawi się stan „0” opóźniony o czas PT. Zmiana IN na „1” podczas pracy timera kasuje i zatrzymuje timer. W pokazanym na rys. 12.22 przykładzie po aktywowaniu przycisku START zmienna wyjściowa przyjmie stan jeden. Po dezaktywowaniu zmiennej wejściowej układ czasowy rozpoczyna pracę, podtrzymując stan wyjścia w stanie wysokim przez 5 s, chyba że na wejściu ponownie pojawi się stan wysoki, wtedy timer jest kasowany, a na wyjście zostaje przekazany stan wejścia.

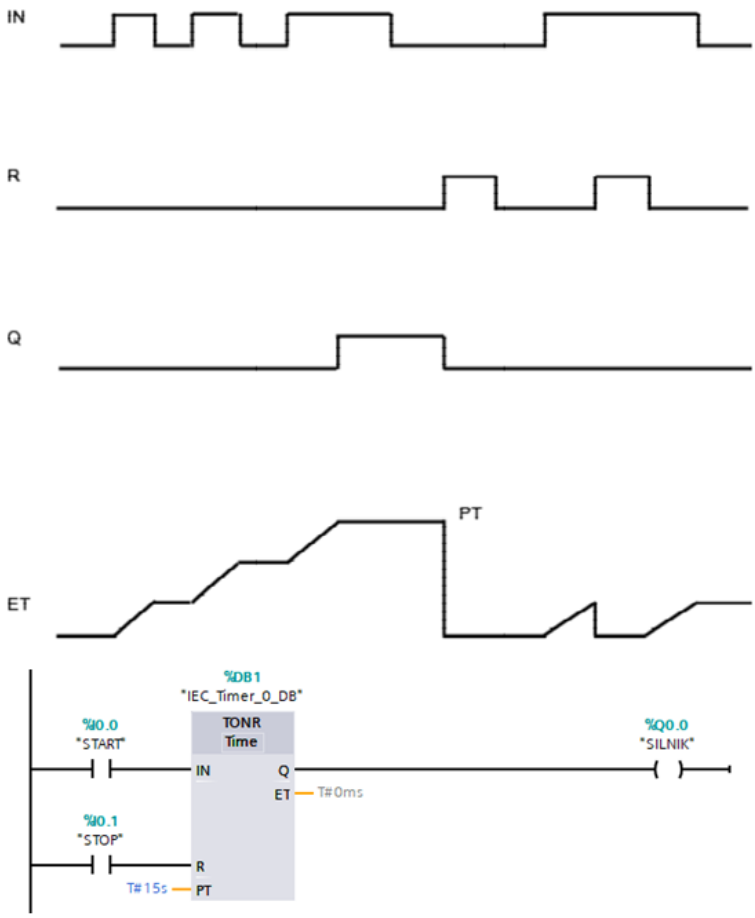


Rys. 12.21. Schemat działania układu czasowego TON



Rys. 12.22. Schemat działania układu czasowego TOF

- TONR – Po załączeniu I0.0, na wyjściu Q0.0 pojawi się stan 1 opóźniony o czas PT. Zmiana IN na 0 podczas pracy timera zatrzymuje timer, ale go nie kasuje. Zmiana IN z powrotem na „1” powoduje, że timer rozpoczyna pracę od zliczonej wartości czasu. Resetowanie stanu wyjścia jest realizowane przez stan wysoki wejścia R. W pokazanym na rys. 12.23 przykładzie po aktywowaniu przycisku START następuje aktywowanie licznika. Rozłączenie przycisku START zatrzymuje licznik, ale go nie kasuje. Ponowne włączenie powoduje kontynuowanie zliczania do czasu osiągnięcia na liczniku 15 s. Po tym czasie na wyjściu zostanie aktywowany stan wysoki. Zresetowanie wyjścia, jak i stanu licznika następuje po przyjęciu przez zmienną STOP stanu „1”.

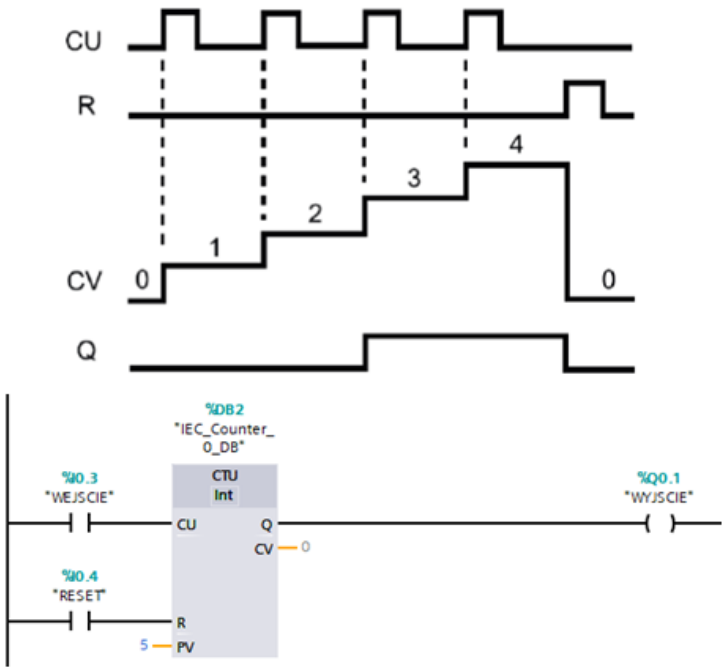


Rys. 12.23. Schemat działania układu czasowego TONR

- Liczniki – w TIA Portal dostępne są 3 rodzaje liczników: CTU, CTD, CTUD.

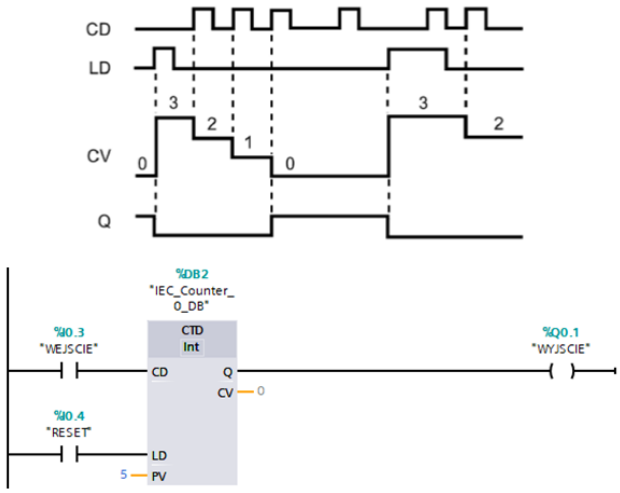
  Schemat działania:

  - CTU – Licznik zlicza w górę zbocza narastające pojawiające się na wejściu CU. Po osiągnięciu wartości PV liczy dalej w górę, aż do skasowania sygnałem R. Gdy CV ≥ PV, wyjście Q = 1 (rys. 12.24).

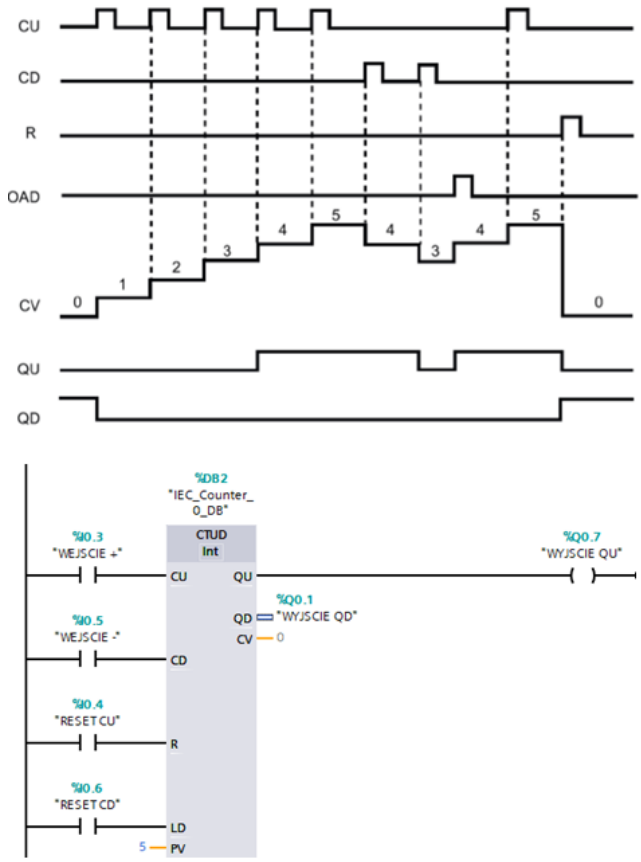


Rys. 12.24. Schemat działania licznika CTU zliczającego w górę

  - CTD – Licznik zlicza w dół zbocza narastające pojawiające się na wejściu CD. Po osiągnięciu wartości 0 liczy dalej w dół, aż do wystąpienia 1 na wejściu LD. Wtedy wartość PV wpisywana jest do CV. Gdy CV ≤ 0, wyjście Q = 1 (rys. 12.25).
  - CTUD – Licznik zlicza w górę zbocza narastające pojawiające się na wejściu CU. Po osiągnięciu wartości PV liczy dalej w górę, aż do skasowania sygnałem R. Gdy CV ≥ PV, wyjście QU = 1. Licznik zlicza w dół zbocza narastające pojawiające się na wejściu CD. Po osiągnięciu wartości 0 liczy dalej w dół, aż do wystąpienia „1” na wejściu LD. Wtedy wartość PV wpisywana jest do CV. Gdy CV ≤ 0, wyjście QD = 1 (rys. 12.26).



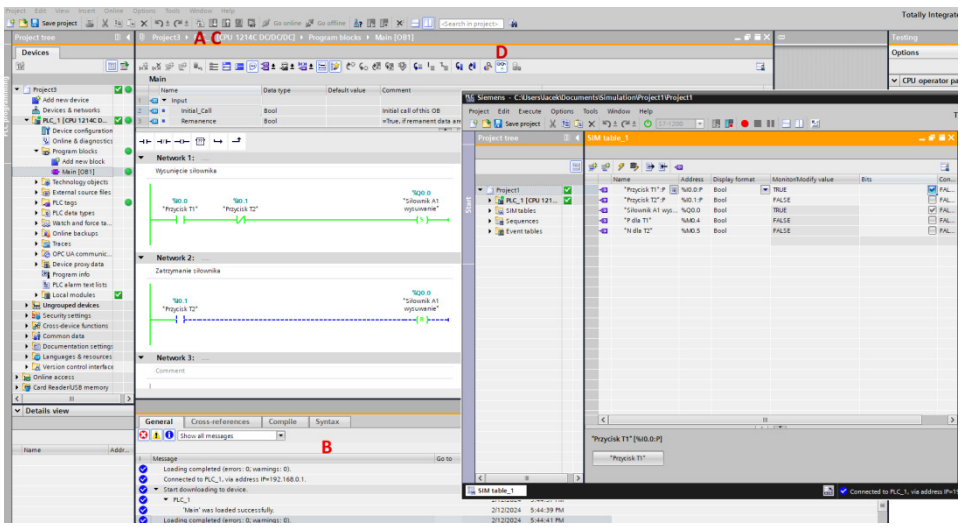
Rys. 12.25. Schemat działania licznika CTD zliczającego w dół



Rys. 12.26. Schemat działania licznika CTUD zliczającego w górę i w dół

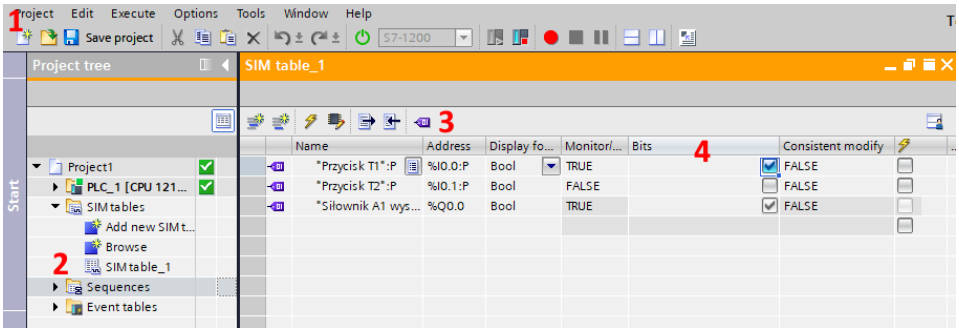
12.5. Przesyłanie programu do sterownika i analiza jego działania

Opracowany program użytkowy sterownika należy wgrać do pamięci sterownika, a następnie sprawdzić poprawność jego działania. Po napisaniu programu należy sprawdzić, czy nie zawiera on błędów zapisu poprzez jego skompilowanie. W tym celu należy użyć przycisku Compile (A) (rys. 12.27). Wykryte błędy zostaną wyświetlone w polu tekstowym (B). Prawidłowo skompilowany program należy wgrać do sterownika, wykorzystując polecenie Download to device (C). Podgląd działania programu jest możliwy poprzez aktywowanie funkcji Monitoring on/off (D).



Rys. 12.27. Okno programu TIA Portal

W celu umożliwienia podglądu oraz modyfikacji sygnałów wejściowych wchodzących do wirtualnego sterowania należy rozwinąć okno symulacji poprzez wciśnięcie przycisku Switch to Project view (rys. 12.9). Następnie należy utworzyć nowy projekt symulacji, wybierając kolejno New project (1) → SIM table_1 (2) → Load project tags (3) (rys. 12.28). W wyniku tego działania wyświetlą się zmienne, których stan można edytować w kolumnie Bits (4). Jednocześnie możliwe jest odczytanie stanu wyjść sterownika.



Rys. 12.28. Tworzenie nowego projektu symulacji

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie podstawowych umiejętności programowania złożonych systemów sterowania z wykorzystaniem sterowników programowalnych dla PLC.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania TIA Portal. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do realizacji ćwiczenia.

Treść zadania

1) Napisać program sterujący realizujący zdefiniowane funkcje.
2) Przeprowadzić symulację działania programu.

Do wyboru przez prowadzącego:

Zadanie 1

Napisać program, którego działanie będzie polegało na aktywowaniu elektromagnesu zaworu 1M1 podłączonego do wyjścia Q0.0 po pojawieniu się sygnału z czujnika 1S1 na fizycznym wejściu I0.0. Czujnik 1S2 będzie aktywował wyjście Q0.1 podłączone do elektromagnesu 1M2, wtedy kiedy na wejściu fizycznym będzie rejestrowany stan 0.

Zadanie 2

Napisać program, którego zadaniem będzie realizacja iloczynu logicznego dwóch operandów powiązanych z wejściami I0.2 i I0.3, a wynik operacji będzie zapisywany na fizycznym wyjściu Q0.2

Q0.2 = I0.2 * NOT(I0.3)

Zadanie 3

Napisać program, którego zadaniem będzie realizacja sumy logicznej trzech operandów powiązanych z wejściami I0.2, I0.3 i I0.4, a wynik operacji będzie zapisywany na fizycznym wyjściu Q0.3

I0.2 I0.3 I0.4=Q0.3

Zadanie 4

Napisać program, którego działanie pozwoli na sterowanie zaworem jak na rysunku.

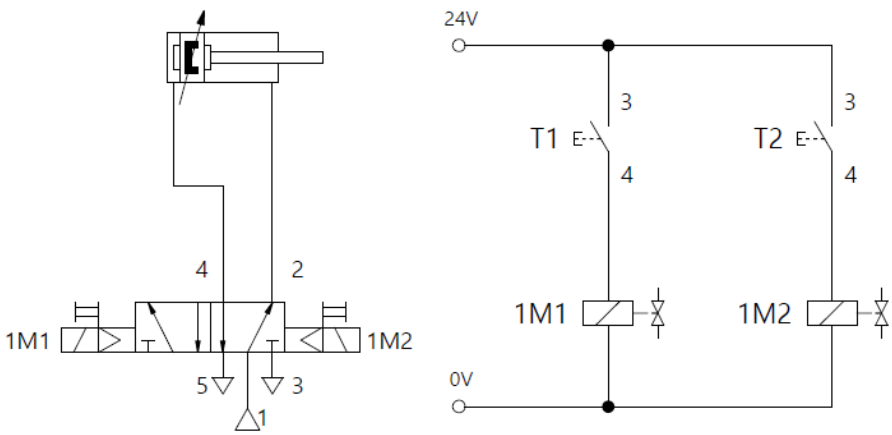
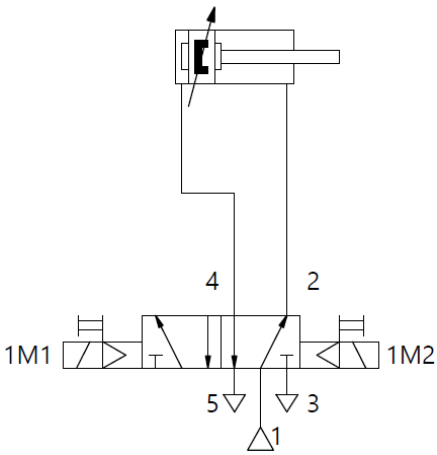


Tabela połączeń sterownika

element sterujący/sterowany	wejście/wyjście sterownika
T1	I0.0
T2	I0.1
1M1	Q0.0
1M2	Q0.1

Zadanie 5

Napisać program, którego działanie pozwoli na sterowanie zaworem jak na rysunku.



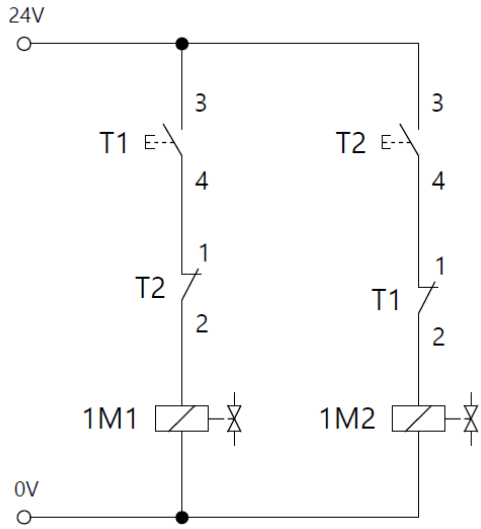


Tabela połączeń sterownika

element sterujący/sterowany	wejście/wyjście sterownika
T1	I0.3
T2	I0.5
1M1	Q0.6
1M2	Q0.3

Sprawozdanie powinno zawierać:

- analizę zadania,
- zdjęcia potwierdzające napisanie programu,
- zdjęcia potwierdzające przeprowadzenie testu programu,
- opis działania układu sterowania z omówieniem i wnioskami.

ROZDZIAŁ 13

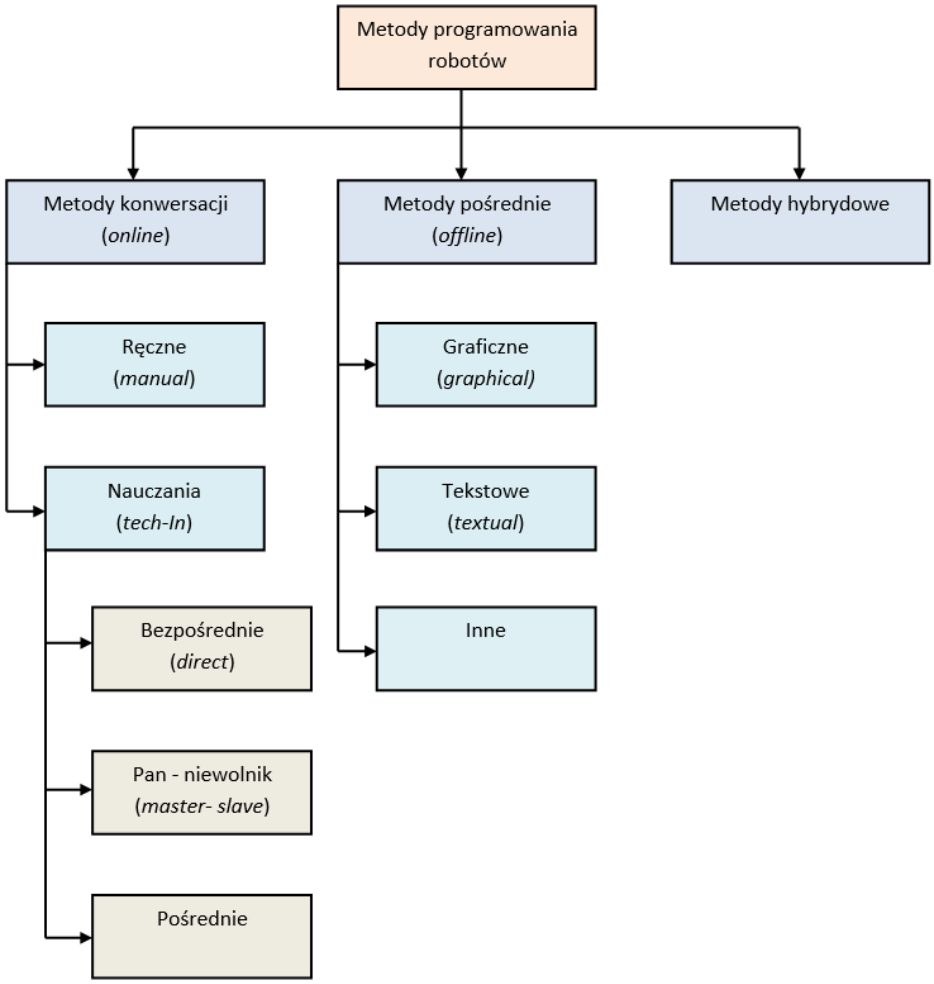
Wstęp do programowania robotów

W literaturze można spotkać różne klasyfikacje metod programowania robotów. Najbardziej ogólna wyodrębnia trzy zasadnicze metody, w których kryterium podziału jest konieczność obecności robota podczas procesu programowania (rys. 13.1). Można tu wyróżnić:

- Metody online, w których programowanie jest realizowane w obecności robota.
- Metody offline, w których programowanie jest realizowane z wykorzystaniem komputerów przy zastosowaniu różnych sposobów programowania.
- Metody hybrydowe, które łączą dwie powyższe metody.

Metody konwersacji umożliwiają liniowe programowanie robotów, przy czym nie pozwalają na bezpośrednią kontrolę stanu. Metody online obejmują programowanie ręczne i tzw. programowanie przez nauczanie. Programowanie tymi metodami jest realizowane przez uczenie przy wykorzystaniu dwóch typów ruchu:

- Od punktu do punktu (*point-to-point*) – metoda programowania polegająca na ustawieniu robota w kolejnych pozycjach trajektorii i zapamiętaniu ich przez kontrolera robota po naciśnięciu przez programistę stosownego przycisku (REC) na teach pendancie. W tym przypadku realizacja trajektorii następuje przez przemieszczanie się punktu referencyjnego robota pomiędzy zapamiętanymi pozycjami.
- Ciągłego (*continuous path*) – metoda programowania polegająca na przemieszczaniu końcówki robota wzdłuż pożądanej trajektorii, przy czym kontroler robota automatycznie zapamiętuje aktualne pozycje zgodnie z zadanym krokiem czasu lub drogi. W tym przypadku realizacja trajektorii następuje przez przemieszczanie się punktu referencyjnego robota pomiędzy zapamiętanymi pozycjami, przy czym liczba zapamiętanych punktów powoduje wierne odwzorowanie drogi.



Rys. 13.1. Metody programowania robotów [24]

Programowanie ręczne

Programowanie ręczne (*manual programming*) realizowane jest przez ustawienie statycznych punktów zatrzymania narzędzia, dlatego metoda ta wymaga bezpośredniej pracy z robotem. Do zalet programowania ręcznego można zaliczyć [25]:

- krótki czas programowania,
- brak konieczności używania specjalistycznego komputera,
- możliwość osiągnięcia szybkich ruchów nawet za pomocą prostego kontrolera, ponieważ wykorzystywane są jedynie komendy PTP (*point-to-point*).

Do wad programowania ręcznego należy zaliczyć:

- programowanie wymaga fizycznej pracy na stanowisku,
- użycie większej ilości punktów jest czasochłonne,
- brak możliwości używania dodatkowych funkcji.

Programowanie przez nauczanie

Obecnie ta metoda jest dość często stosowana z uwagi na złożoność ścieżki przejścia robota, co jest oczekiwane w wielu aplikacjach, np. nanoszenie kleju czy pasty termoprzewodzącej. Programowanie przez nauczanie może odbywać się trzema sposobami [25]:

- Bezpośrednio – programowanie robota jest realizowane przy oswobodzonych osiach, a pozycja efektora jest zapamiętywana poprzez rozkazy lub automatycznie z zadaną częstotliwością.
- Pan-niewolnik – jest realizowana tak jak metoda bezpośrednia, jednak jako robota prowadzącego wykorzystuje się jego model, który może być wykonany w skali.
- Pośrednio – w tym przypadku generowanie programu i jego zapis do pamięci robota jest realizowany z wykorzystaniem panelu programowania. Ten sposób programowania jest dość powszechnie stosowany. Metoda ta charakteryzuje się:
    - kontrolą trybu pracy robota (automatyczna/ręczna),
    - ograniczeniem prędkości pracy robota w trybie ręcznym,
    - możliwością wyboru układu współrzędnych oraz dostępem do wszystkich funkcji,
    - możliwością zapisu aktualnej pozycji robota.

Do głównych zalet programowania przez nauczanie należy zaliczyć:

- prostą implementację,
- demonstracyjny charakter programowania,
- możliwość szybkiego pisania prostych programów,
- małą objętość pamięciową programu.

Za wady należy uznać:

- konieczność zajęcia robota na czas programowania,
- długi czas przygotowania programu dla złożonych zadań,
- potrzebę dostępu do w pełni zbudowanego stanowiska roboczego robota,
- trudność w implementacji informacji z czujników w programie robota,
- ograniczenie do stosowania prostych komend.

Metody offline umożliwiają tworzenie oprogramowania bez konieczności podłączenia rzeczywistego urządzenia. W przypadku stosowania tej grupy metod programowania tworzenie i testowanie aplikacji sterujących w przypadku budowy nowych stanowisk produkcyjnych może być realizowane równolegle z budową stanowisk. Programowanie robotów bez konieczności ich wykorzystania w trakcie pisania programu można realizować metodami:

- strukturalnymi, z wykorzystaniem języków wysokiego poziomu,
- graficznymi.

Do głównych zalet programowania offline należy zaliczyć:

- brak konieczności udziału fizycznego robota w procesie programowania,
- możliwość tworzenia złożonych, wielowariantowych programów, w tym również aplikacji wielozadaniowych,
- stosowanie zaawansowanych edytorów tekstowych wspierających programistów podczas tworzenia programów oraz ich modyfikacji,
- automatyzację tworzenia dokumentacji programu,
- łatwość wykorzystania w programie informacji pochodzących z czujników.

Do głównych wad należy zaliczyć:

- brak możliwości dokładnego zdefiniowania pozycji z uwagi na rozbieżność pomiędzy modelem wirtualnym a rzeczywistym, co powoduje konieczność kalibracji programu robota na rzeczywistym stanowisku.
- konieczność przeprowadzenia weryfikacji programu i przyjętych parametrów na rzeczywistym stanowisku produkcyjnym.

Programowanie robotów może być również realizowane z wykorzystaniem dedykowanych pakietów służących do obsługi czujników zewnętrznych czy też systemu wizyjnego. W takich przypadkach bardzo często programowanie punktów i ruchu robota realizowane jest w trybie online, zaś konfiguracja i parametryzacja programu wykonywana jest z wykorzystaniem komputera.

Do głównych zalet programowania hybrydowego należy zaliczyć:

- większą wygodę w związku z możliwością użycia dużych ekranów komunikacyjnych,
- możliwość korzystania z zaawansowanych funkcji,
- wsparcie dla oprogramowania firm dostarczających systemy wizyjne i inne rozwiązania sprzętowe,

- zautomatyzowany proces generowania dokumentacji programu,
- łatwą konfigurację wszelkiego rodzaju rozwiązań wymagających komunikacji pomiędzy kontrolerem robota a innymi urządzeniami wchodzącymi w skład stanowiska (sterowniki, maszyny CNC, SCADA itp.),
- możliwość korzystania z kodu wymagającego wcześniejszej kompilacji.

Do głównych wad należą:

- wysokie koszty związane z koniecznością zakupu dedykowanego środowiska programistycznego,
- wymagania sprzętowe związane z obsługą programu.

13.1. Języki programowania robotów

Program sterujący robota przemysłowego standardowo składa się z instrukcji ruchu, instrukcji obsługi wejść/wyjść, instrukcji obsługi zmiennych oraz standardowych instrukcji warunkowych, pętli oraz innych instrukcji służących do parametryzacji pracy robota. Program sterujący może być jedno- lub wielowątkowy. Dodatkowo może uwzględniać współpracę z urządzeniami zewnętrznymi, dla których robot może być w zależności od konfiguracji – urządzeniem nadrzędnym lub urządzeniem obsługiwanym [25]. Najczęściej w tego typu przypadkach mamy do czynienia z robotem pełniącym rolę podrzędną, wykonującym działania pod kontrolą systemu nadrzędnego, np. układu sterowania obrabiarką CNC. W przypadku pracy robota w konfiguracji nadrzędnej robot do zarządzania układami współpracującymi wykorzystuje protokoły komunikacyjne lub instrukcje wejść/wyjść. Instrukcje zapisane w programie sterującym robota wykonywane są sekwencyjnie zgodnie z zaprogramowaną kolejnością z uwzględnieniem instrukcji pętli i instrukcji warunkowych.

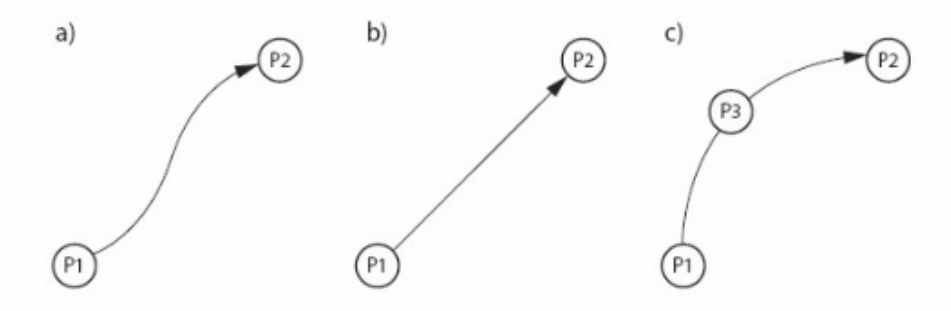
W przypadku wszystkich języków programowania robotów można wyróżnić kilka grup instrukcji wykorzystywanych podczas programowania, należą do nich [25]:

- instrukcje opisujące deklarację i obsługę zmiennych,
- instrukcje opisujące układy współrzędnych,
- instrukcje opisujące ruch robota,
- instrukcje opisujące obsługę sygnałów,

- instrukcje sterujące przepływem programu,
- instrukcje matematyczne,
- instrukcje przeznaczone do procesu,
- instrukcje dodatkowe.

Użycie różnych układów współrzędnych w procesie programowania robota wynika głównie z potrzeby zachowania elastyczności procesu programowania w stosunku do zadania aplikacyjnego. Łatwiej jest np. zbudować aplikację realizującą proces paletyzacji czy depaletyzacji, korzystając z układu współrzędnych związanego z paletą, na której znajdują się części, na których operuje robot. Wykorzystanie układu WORLD (określającego globalny układ stacji roboczej) będzie wtedy wykorzystywane do określenia pozycji palety, ale nie części. Ewentualne przestawienie palety będzie się wiązało z uwzględnieniem przesunięcia palety względem układu WORLD, zaś położenie wszystkich elementów dalej pozostanie niezmienione względem układu lokalnego znajdującego się na palecie [25]. Podczas programowania robota istnieje zarówno możliwość pozycjonowania narzędzia względem stanowiska, względem detalu, jak i względem robota. Położenie każdego punktu w programie robota jest definiowane w jednym z przyjętych układów współrzędnych w związku z czym istnieje potrzeba zarówno opisu tych układów, jak również możliwości zmiany ich parametrów oraz zmiany samych układów w trakcie realizacji programu.

Ruchy robota są programowane jako ruchy z jednej pozycji do drugiej (rys. 13.2). Z reguły w instrukcji głównym argumentem jest pozycja i orientacja punktu, do którego robot ma się przemieścić. Należy przy tym pamiętać, że robot wykonuje ruch do punktu, który jest zapisany w aktywnym układzie współrzędnych. Jeżeli zatem punkt został zapisany w innym układzie współrzędnych, instrukcja ruchu musi się wiązać ze zmianą układu współrzędnych na zgodny z tym, w jakim zapisany został punkt. Droga pomiędzy tymi dwoma pozycjami jest automatycznie wyliczana i w razie potrzeby interpolowana przez system robota. Podstawowe charakterystyki ruchu są wyszczególniane przez wybieranie odpowiednich instrukcji pozycjonowania oraz podanie pozycji i orientacji punktu [25], zaś same parametry ruchu mogą być wyszczególnione przez zdefiniowanie prędkości, przyspieszenia, dokładności pozycji czy opisu aktualnego układu współrzędnych.



Rys. 13.2. Podstawowe typy ruchu robota pomiędzy dwoma punktami: a) ruch PTP, b) ruch z interpolacją liniową, c) ruch z interpolacją kołową [25]

Jak wynika z rys. 13.2a najprostszy rodzaj ruchu robota to ruch z punktu do punktu. W ruchu tym wartościami zadanymi do osiągnięcia przez określony punkt efektora są jego współrzędne oraz orientacja. Prędkość robota jest podawana jako wartość procentowa prędkości maksymalnej. Trajektoria przemieszczenia się narzędzia nie jest przewidywalna i może ulegać zmianie z uwagi na brak realizacji procesu interpolacji położenia efektora.

Drugim rodzajem ruchu przedstawionym na rys. 13.2b jest ruch liniowy. W ruchu tym osie robota są tak sterowane, aby w efekcie zapewnić liniowy ruch narzędzia po trajektorii wyznaczonej w wyniku interpolacji pomiędzy zdefiniowanym punktem początkowym i końcowym. W tym rodzaju ruchu prędkość może być ściśle zdefiniowana w programie.

Kolejny rodzaj ruchu (rys. 13.2c) to ruch z interpolacją kołową, w którym przemieszczenie efektora realizowane jest po określonym przez dodatkowy punkt promieniu. W tym rodzaju ruchu prędkość jest sparametryzowana.

W wielu przypadkach dla zapewnienia odpowiedniej jakości realizacji procesu konieczne jest zapewnienie ciągłości trajektorii robota i w takich sytuacjach stosowane są inne bardziej zaawansowane instrukcje ruchu, pozwalające na sterowanie pozycją, orientacją oraz prędkością narzędzia na ścieżce. Roboty wyposażone są również w wejścia i wyjścia cyfrowe i analogowe. Te metody komunikacji są wykorzystywane do integracji robota z innymi elementami stanowiska roboczego. W celu umożliwienia obsługi wejść/wyjść, w języku programowania robotów umieszczono instrukcje przyporządkowujące fizyczne adresy.

Instrukcje sterujące służą do sterowania przepływem programu. Możemy tu wyróżnić [25]:

- Instrukcje wyboru (*if, else, switch, case, default*), pozwalające na uwarunkowanie kierunku przepływu programu w zależności od wartości zmiennych, sygnałów czy parametrów robota.
- Instrukcje realizujące pętle (*for, while, do*), pozwalające na wielokrotne wykonywanie instrukcji umieszczonych wewnątrz konstrukcji ograniczonych przez słowa kluczowe.
- Instrukcje wyjścia, zakończenia oraz skoku do etykiety w programie (*break, continue, go to, return*), pozwalające na realizację wyjścia z pętli, funkcji oraz przeskoku w związku ze spełnieniem określonego warunku.
- Instrukcje wywołania innego podprogramu (*call*), pozwalające na podział programu już na etapie tworzenia algorytmu na moduły odpowiedzialne za realizację często powtarzających się elementów, np. obsługa otwarcia i zamknięcia chwytaka.
- Instrukcje wstrzymujące wykonanie dalszej części programu na określony czas mierzony w milisekundach lub sekundach albo do czasu spełnienia określonego warunku, np. uzyskania sygnału na wejściu robota.
- Instrukcje zakończenia programu, pozwalające na wcześniejsze zakończenie programu lub na wyjście z podprogramu do programu głównego (*End*).

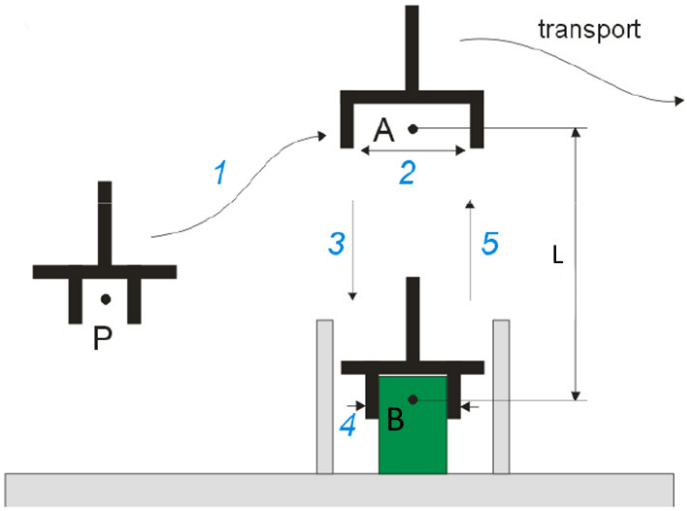
Języki programowania robota pozwalają również na realizację instrukcji matematycznych. Biblioteka instrukcji matematycznych dotyczy przede wszystkim instrukcji związanych z obsługą funkcji trygonometrycznych, które mogą być wykorzystane do obliczania wartości zmiennych w pamięci sterownika robota. Obliczone zmienne mogą być dowolnie wykorzystywane w trakcie realizacji instrukcji ruchu.

W zależności od docelowego przeznaczenia robota jego program sterowania może zawierać instrukcje przeznaczone do określonego procesu technologicznego. Przykładem może być robot spawalniczy, którego sterownik wyposażony jest w bibliotekę komend służących do obsługi procesu spawania. Do instrukcji mogą być również dołączone schematy ułatwiające programowanie robota i ustalanie parametrów realizacji procesu.

Stosowanie strategii programowania ma na celu wyeliminowanie błędów, mogących skutkować wystąpieniem kolizji podczas ruchu

robota, jak również doprowadzenie do tego, aby uzyskać jak najwyższą efektywność zrobotyzowanego procesu. W celu osiągnięcia pożądanych efektów pracy robota należy przestrzegać następujących zasadach dotyczących programowania robotów [25]:

- Każdy program powinien mieć zapisaną pozycję referencyjną. Jest to pozycja bezpieczna, znajdująca się z dala od przestrzeni ruchu narzędzia oraz urządzeń, z której robot rozpoczyna swoją pracę i do której wycofuje się po wykonaniu całego programu. Pozycja referencyjna charakteryzuje się również tym, że robot, wchodząc do tej pozycji, wystawia sygnał do urządzeń zewnętrznych, informując, że znajduje się w ściśle określonym położeniu.
- Program robota powinien zawierać jak najmniej zapisanych pozycji i powinien wykorzystywać mechanizmy pozwalające na wyliczanie w sposób dynamiczny pozycji potrzebnych do realizacji zadania, np. pozycji kolejnych elementów w procesie paletyzacji.
- Czas cyklu ulega wydłużeniu, jeżeli robot podczas ruchu zmienia orientację narzędzia. Robot przemieszcza się znacznie szybciej, jeżeli orientacja narzędzia zmieniana jest wolno i stopniowo.
- Pozycja chwytania i odkładania przedmiotu powinna być osiągana z dużą dokładnością w interpolacji liniowej. Tego typu pozycjonowania należy używać również do wszystkich pozycji orientowania przedmiotu (rys. 13.3).
- Poruszanie się w obszarze oddalonym od elementu obrabianego należy realizować z pozycjonowaniem o mniejszej dokładności, bez zatrzymywania się w zaprogramowanej pozycji.
- Operacje związane z obsługą narzędzi powinny być zapisane w postaci odrębnych podprogramów lub makr i powinny uwzględniać stałe czasowe związane z danym narzędziem.
- Operacje obsługi narzędzi powinny zwracać sygnał informujący o stanie narzędzia.
- W przypadku programowania stanowiska z kilkoma robotami należy unikać przecinania się trajektorii ruchu TCP robotów lub stosować narzędzia programowe eliminujące niebezpieczeństwo wystąpienia kolizji.



Rys. 13.3. Przykładowa trajektoria ruchów robota

13.2. Podstawy teoretyczne programowania robotów

Roboty przemysłowe składają się z kilku członów. Człony te są ze sobą połączone i przemieszczają się zgodnie z zadawanymi sygnałami sterującymi na podstawie wskazań operatora lub zgodnie z uruchomionym programem robota. W każdym z tych przypadków opis ruchu robota wymaga znajomości położenia poszczególnych członów systemu względem siebie w funkcji czasu. W związku z tym zagadnienie sterowania, jak i programowania łączą się z koniecznością zastosowania odpowiednich układów współrzędnych, względem których realizowany będzie ruch robota. Niezależnie od konstrukcji robota, zgodnie z normą ISO 9787:2013 możemy wyróżnić kilka standardowych układów współrzędnych stosowanych w robotyzacji (rys. 13.4) [25].

Pierwszym jest **globalny układ współrzędnych** (*world coordinate system*), będący układem kartezjańskim odniesionym do stanowiska roboczego i niezależnym od ruchu robota. Umiejscowienie tego układu jest istotne, gdy na stanowisku zrobotyzowanym znajduje się kilka robotów lub maszyn, z którymi roboty współpracują. Wówczas ich wzajemne posadowienie określane jest w tym układzie współrzędnych.

Drugim jest **bazowy układ współrzędnych** (*base coordinate system*), odniesiony do bazowej powierzchni montażowej robota. Położe-

nie efektora i innych układów w przestrzeni roboczej robota wyznacza się względem tego układu współrzędnych. Najczęściej układ ten jest układem kartezjańskim nieruchomym. Wyjątek stanowi przypadek posadowienia robota na osi ruchomej. W tym przypadku układ ten będzie zmieniał swoją pozycję wraz z przemieszczającym się robotem.

Trzecim układem jest **układ współrzędnych połączenia** (*joint coordinate system*) (rys. 13.5). Układ ten opisany jest, w zależności od typu robota, za pomocą kątów położenia poszczególnych ramion robota lub przemieszczeń liniowych.

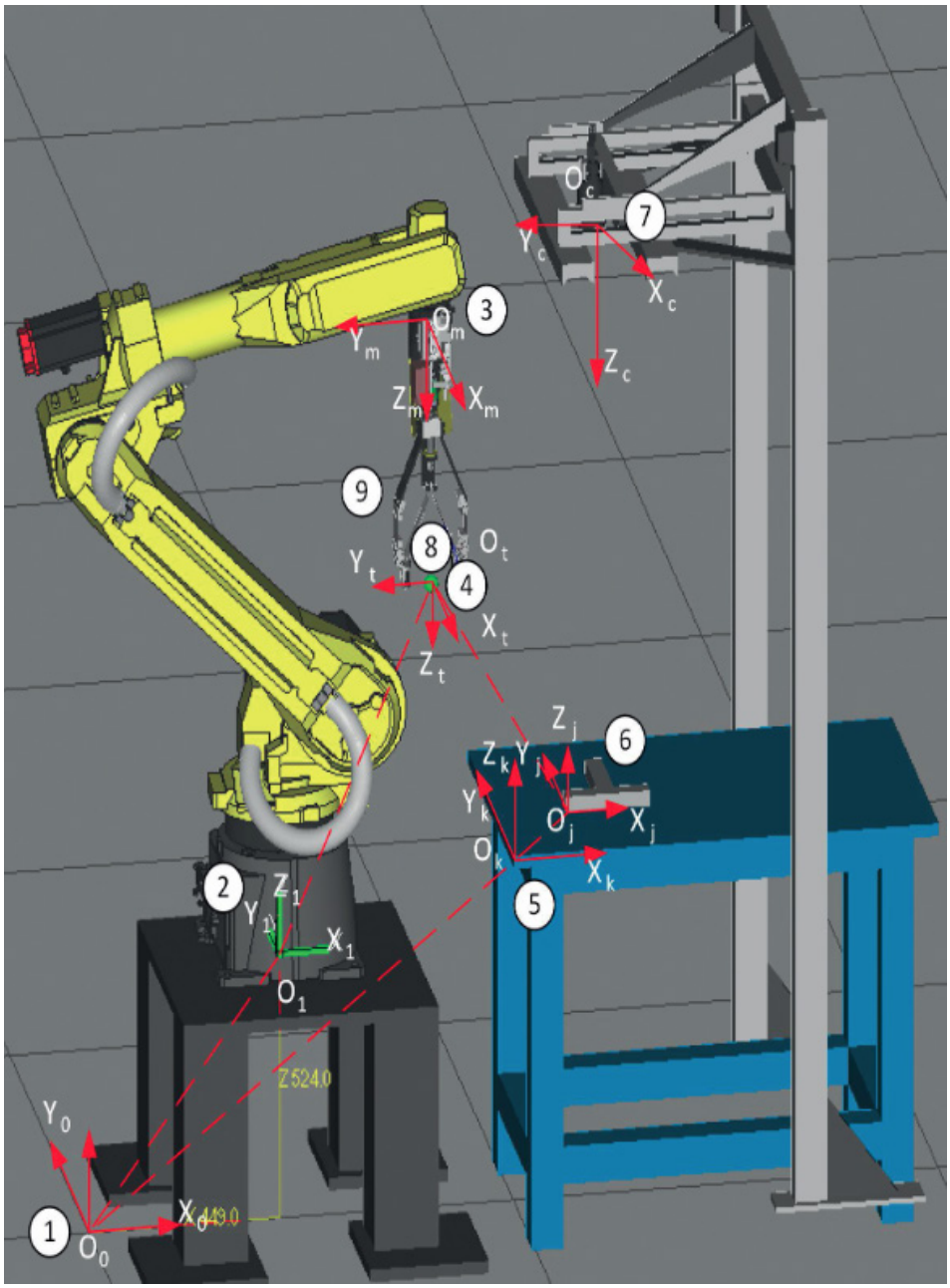
Do istostnych układów współrzędnych wykorzystywanych w trakcie programowania robotów należą ponadto:

- **układ współrzędnych inerfejsu mechanicznego** (*mechanical interface coordinate system*),
- **układ współrzędnych narzędzia** (*tool coordinate system*).

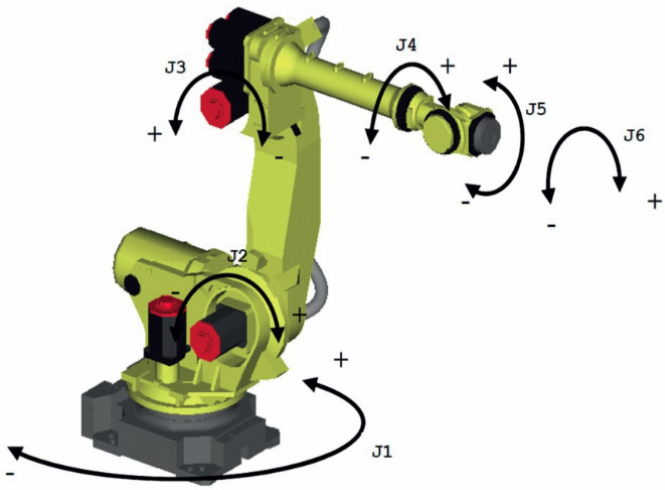
Układ współrzędnych narzędzia jest odniesiony do interfejsu mechanicznego ($TOOL_0$), do którego przyłączony jest efektor. Środek układu współrzędnych interfejsu mechanicznego robota jest domyślnie umieszczony w punkcie środkowym kołnierza montażowego narzędzia. Kiedy robot ma kilka zainstalowanych efektorów lub też zmienia narzędzie za pomocą systemu wymiany narzędzi istnieje potrzeba zdefiniowania dla robota kilku układów współrzędnych narzędzia. Układ współrzędnych narzędzia TOOL jest przesuwany przez użytkownika do punktu roboczego narzędzia i orientowany zgodnie z osią narzędzia. Dlatego układy $TOOL_0$ i TOOL mogą być względem siebie przesunięte i obrócone.

Kolejnym układem współrzędnych wymienionym w normie ISO 9787:2013 jest **układ współrzędnych zadania** (*task coordinate system*). Układ współrzędnych zadania jest układem kartezjańskim, umiejscowionym przez użytkownika w przestrzeni roboczej robota i wykorzystywanym w celu ułatwienia manipulacji robotem podczas określonych zadań realizowanych w ramach procesu technologicznego i może być on definiowany wewnątrz maszyny, z którą współpracuje robot.

Poza wymienionymi układami współrzędnych (zgodnie z normą ISO 9787:2013) stosowane są również dodatkowo układy takie jak: **układ współrzędnych obiektu** (*object coordinate system*) czy **układ współrzędnych kamery** (*camera coordinate system*). Pierwszy z nich powiązany jest z obiektem roboczym, zaś drugi – z kamerą systemu wizyjnego sprzężonego z robotem.



Rys. 13.4. Umiejscowienie układów współrzędnych systemu zrobotyzowanego:
1 – globalny układ współrzędnych, 2 – bazowy układ współrzędnych, 3 – układ współrzędnych interfejsu mechanicznego, 4 – układ współrzędnych narzędzia A, 5 – układ współrzędnych zadania, 6 – układ współrzędnych obiektu, 7 – układ współrzędnych kamery, 8 – punkt środkowy narzędzia, 9 – układ narzędzia B [25]

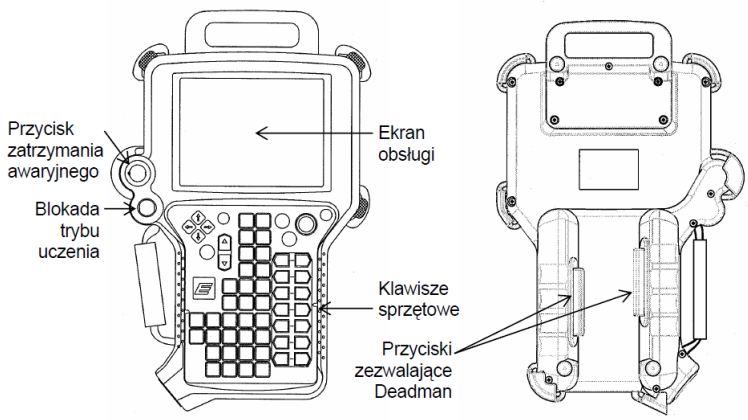


Rys. 13.5. Układ współrzędnych połączenia [25]

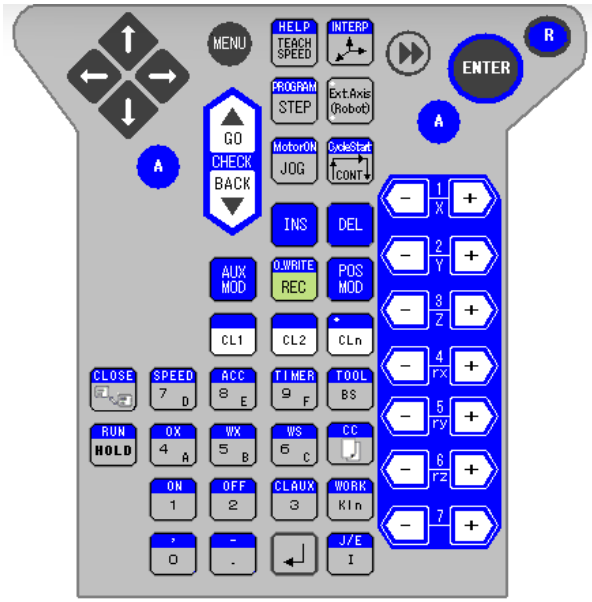
13.3. Wprowadzenie do programowania robota Kawasaki RS003N

13.3.1. Podstawowe informacje o programatorze ręcznym

Na rys. 13.6 zamieszczono opis podstawowych elementów programatora ręcznego. Programator ręczny posiada klawisze i przełączniki niezbędne do uczenia robota i edycji danych oraz ekran do wyświetlania. Na rys. 13.7 pokazano rozmieszczenie przycisków sprzętowych.



Rys. 13.6. Schemat programatora ręcznego [26]



Rys. 13.7. Rozmieszczenie przycisków sprzętowych

W tabeli 13.1 opisano funkcje przełączników sprzętowych programatora ręcznego.

Tabela 13.1. Opis funkcji przełączników sprzętowych programatora ręcznego

Przełącznik	Funkcja
	Wyłącza zasilanie silników i zatrzymuje robota. W celu wyjścia ze stanu zatrzymania awaryjnego należy przekręcać ten przycisk w prawo, do momentu kiedy przełącznik powróci do pierwotnej pozycji wyjściowej
	Włączenie tego przełącznika w tryb uczenia pozwala wykonywać ruchy ręczne oraz kontrolne. Wyłączenie z trybu uczenia wznawia pracę cykliczną
	Jeżeli obydwa przyciski nie są wciśnięte, nie można wykonywać ruchów ręcznych osiami robota. Pełne wciśnięcie przycisku albo jego całkowite zwolnienie powodują wyłączenie zasilania silników i zatrzymanie robota

W tabeli 13.2 opisano funkcje przycisków programatora ręcznego.

Tabela 13.2. Opis funkcji przycisków programatora ręcznego

Przycisk	Funkcja	Funkcja + A
A	Używany w połączeniu z innymi przyciskami. Jeżeli przycisk zostanie wciśnięty wraz z przyciskiem A, wykonywana jest funkcja zaznaczona w górnej jego części	
MENU	Wyświetla rozwijalne menu dla aktywnego obszaru	
↑ ← → ↓	Przyciski kursora. Służą do przemieszczania kursora pomiędzy elementami i ekranami oraz do zmiany kroku	A+↑: Przejście do poprzedniego kroku w trybie uczenia/edycji. A+↓: Przejście do następnego kroku w trybie uczenia lub edycji
ENTER	Działanie tego klawisza jest identyczne jak klawisza ↵. Jedyna różnica polega na tym, że nie zatwierdza on danych wprowadzonych za pomocą klawiatury ekranowej	
R	Kasuje dane w polach, wywołuje pole do wprowadzania kodu R, przechodzi do poprzedniego ekranu itp. Lista kodów R jest wyświetlana po wciśnięciu klawiszy A+HELP w czasie wyświetlania pola do wprowadzania kodu R	Przechwytuje aktualnie wyświetlany ekran i zapisuje go w pamięci USB w formie pliku graficznego (PNG)
▶▶	Załącza funkcję Fast Check. Wciśnięcie przycisku CHECK + tego klawisza umożliwia przeprowadzenie kontroli z dużą szybkością	

Tabela 13.2. Opis funkcji przycisków programatora ręcznego

Przycisk	Funkcja	Funkcja + A
GO	Przejście do kolejnego kroku w trybie kontroli. Wciśnięcie tego przycisku w trybie odtwarzania powoduje przejście o jeden krok do przodu	Przejście do kolejnego kroku, jeżeli parametr [Continuous Step Mode] funkcji 0807 jest ustawiony na [Disable], a tryb kontroli jest ustawiony na [Check Once]
BACK	Przejście o jeden krok wstecz w trybie kontroli	Przejście o jeden krok wstecz, jeżeli parametr [Continuous Step Mode] funkcji 0807 jest ustawiony na [Disable], a tryb kontroli jest ustawiony na [Check Once]
HELP TEACH SPEED	Ustawia prędkość dla sterowania ręcznego i kontroli. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 1$	Wciśnięcie tego przycisku po wcześniejszym wciśnięciu przycisku KIn, R itp., powoduje wyświetlenie tekstu pomocy
INTERP	Wybiera układ współrzędnych dla sterowania ręcznego. Wciskanie tego przycisku powoduje przełączanie pomiędzy trybami: Joint → Base → Tool → Joint	Wybiera typ instrukcji interpolacji. Wciskanie tego przycisku + przycisku A powoduje przełączanie pomiędzy trybami interpolacji: Joint→Linear→ Lin(ear)2→Cir(cular)1→ Cir(cular)2→F Lin(ear)→ F Cir(cular)1→F Cir(cular)2 →X Lin(ear)→Joint
PROGRAM STEP	Wyświetla menu do wyboru kroku	Wyświetla menu do wyboru programu
Ext.Axis (Robot)	Włącza podświetlenie górnych (/dolnych) diod LED, co umożliwia sterowanie za pomocą przycisku AXIS grupami osi zewnętrznych: JT15-JT18 (/JT8-JT14)	
Motor ON JOG	Zwiększa prędkość ruchu robota w trybie uczenia i kontroli. Zmiana jest wprowadzana tylko w czasie, kiedy przycisk jest wciśnięty	Włącza zasilanie silników, jeżeli było wyłączone. Jeżeli zasilanie silników jest włączone, powoduje jego wyłączenie

Tabela 13.2. Opis funkcji przycisków programatora ręcznego

Przycisk	Funkcja	Funkcja + A
Cycle Start CONT	Określa, w jaki sposób ma być odtwarzany program w trybie kontroli. Przełącza pomiędzy trybami Once (Jeden raz) i Continous (Ciągle)	Rozpoczyna wykonywanie cyklu w trybie odtwarzania
INS	Wstawia nowe kroki do programu	
DEL	Usuwa kroki w programie	
AUX MOD	Edycja parametrów pomocniczych	
O.WRITE REC	Dodaje nowy krok po bieżącym kroku	Zastępuje bieżący krok przez nowy krok
POS MOD	Modyfikuje dane o pozycji	
CL1	Przełącza stan sygnału sterującego chwytaka clamp 1: ON→OFF→ON	Przełącza zarówno dane sygnału sterującego chwytaka 1, jak i faktyczny sygnał sterujący chwytaka 1: ON→OFF→ON

Tabela 13.2. Opis funkcji przycisków programatora ręcznego

Przycisk	Funkcja	Funkcja + A
CL2	Przełącza stan sygnału sterującego chwytaka clamp 2: ON→OFF→ON	Przełącza zarówno dane sygnału sterującego chwytaka 2, jak i faktyczny sygnał sterujący chwytaka 2: ON→OFF→ON
CLn	Przełącza sygnał sterujący n-tego chwytaka pomiędzy stanami ON i OFF. Po aktywowaniu dioda LED na przycisku jest zapalana na czerwono (ON). CLn + NUMER (1-8) powoduje zmianę sygnału sterującego n-tego chwytaka: ON→OFF→ON	A + CLn + NUMBER (1-8) powoduje przełączenie zarówno danych sygnału, jak i faktycznego sygnału sterującego chwytaka: ON→OFF→ON
– +	Przesuwa dowolną oś od JT1 do JT7	
– .	Wprowadza „.”	Wprowadza „-”
, 0	Wprowadza „0”	Wprowadza „,”
ON 1	Wprowadza „1”	Wymusza stan ON określonego sygnału sterującego chwytaka

Tabela 13.2. Opis funkcji przycisków programatora ręcznego

Przycisk	Funkcja	Funkcja + A
OFF 2	Wprowadza „2”	Wymusza stan OFF określonego sygnału sterującego chwytaka
CL.AUX 3	Wprowadza „3”	Wywołuje ekran do wprowadzanych parametrów pomocniczych instrukcji (OC) w czasie uczenia blokowego
OX 4 A	Wprowadza „4”	Wywołuje ekran do wprowadzanych danych wyjściowych instrukcji (OX) w trakcie uczenia blokowego. Wprowadza „A”, jeżeli nie obowiązuje tryb uczenia blokowego
WX 5 B	Wprowadza „5”	Wywołuje ekran do wprowadzanych danych wejściowych instrukcji (WX) w trakcie uczenia blokowego. Wprowadza „B”, jeżeli nie obowiązuje tryb uczenia blokowego
WS 6 C	Wprowadza „6”	Wywołuje ekran do wprowadzanych danych instrukcji WS w trakcie uczenia blokowego. Wprowadza „C”, jeżeli nie obowiązuje tryb uczenia blokowego
SPEED 7 D	Wprowadza „7”	Wywołuje ekran do wprowadzanych danych instrukcji prędkości w trakcie uczenia blokowego. Wprowadza „D”, jeżeli nie obowiązuje tryb uczenia blokowego
ACC 8 E	Wprowadza „8”	Wywołuje ekran do wprowadzanych parametrów pomocniczych instrukcji w trakcie uczenia blokowego. Wprowadza „E”, jeżeli nie obowiązuje tryb uczenia blokowego
TIMER 9 F	Wprowadza „9”	Wywołuje ekran do wprowadzania danych instrukcji czasu w trakcie uczenia blokowego. Wprowadza „F”, jeżeli nie obowiązuje tryb uczenia blokowego

Tabela 13.2. Opis funkcji przycisków programatora ręcznego

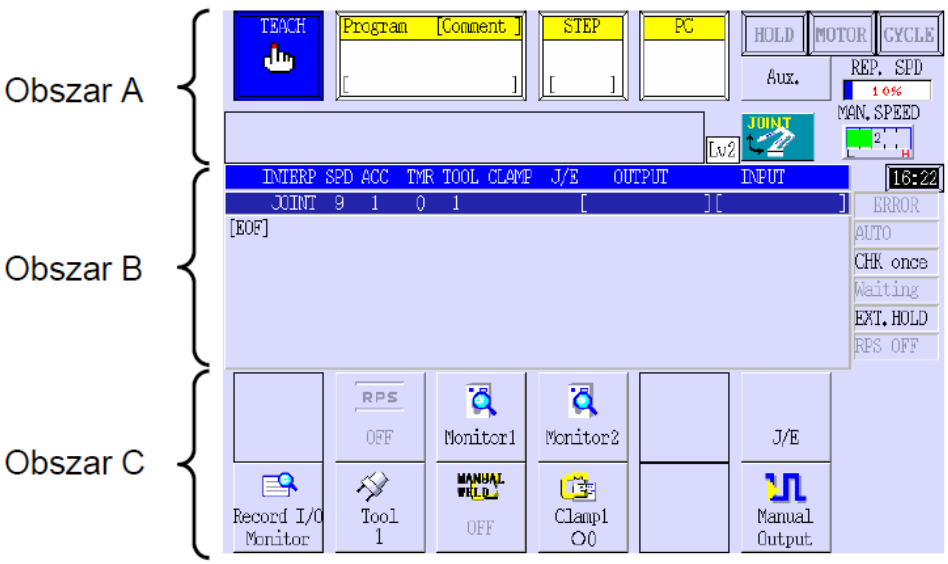
Przycisk	Funkcja	Funkcja + A
TOOL BS	Usuwane dane przed kursorem	Wywołuje ekran do wprowadzanych danych instrukcji narzędzia w czasie uczenia blokowego
CC	Wyświetla/ukrywa panel operatora	Wywołuje ekran danych instrukcji CC w czasie uczenia blokowego
WORK KIn	Bezpośrednio określa numer instrukcji KI	Wywołuje ekran do wprowadzania instrukcji pracy w czasie uczenia blokowego
J/E I	Aktywuje funkcje edycji programu	Przełączanie i ustawienie instrukcji J/E (Jump/End)
↵	Zatwierdza wprowadzone dane	
CLOSE	Zmienia aktywny ekran za każdym razem po wciśnięciu. Klawisz ten jest dalej nazywany klawiszem Screen Change	Zamyka aktualnie aktywny ekran monitorowania
RUN HOLD	Przełącza robota do stanu Hold (zatrzymania)	Przełącza robota do stanu Run (praca)

13.3.2. Podstawowe informacje o ekranie programatora ręcznego

Programator ręczny posiada ekran ciekłokrystaliczny. Ekran ten podzielony jest na trzy obszary: A, B i C (rys. 13.8). Obszary B i C mogą znajdować się w stanie aktywnym lub nieaktywnym. W celu umożliwienia rozróżnienia, który obszar jest aktualnie aktywny lub wybrany, okna i znaki w obszarach B i C posiadają różne kolory w trybie uczenia i odtwarzania. Szczegółowe informacje o stanie obszaru opisano w tabeli 13.3. Wciśnięcie klawisza Screen Change lub bezpośrednie wciśnięcie obszaru powoduje przełączenie na aktywny obszar B lub C.

Tabela 13.3. Opis stanów obszarów ekranu programatora ręcznego

	Obszar B		Obszar C	
	Trybu uczenia	Tryb odtwarzania	Trybu uczenia	Tryb odtwarzania
Aktywny	Niebieski	Zielony	Niebieski	
Nieaktywny	Szary			

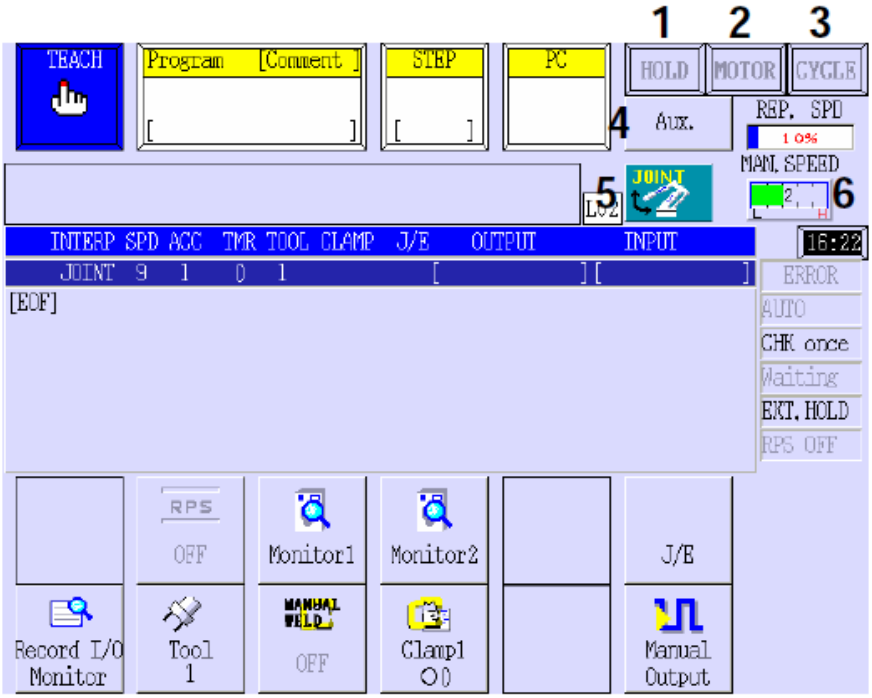


Rys. 13.8. Widok ekranu programatora ręcznego [26]

Na rysunku 13.9 przedstawiono przyciski obsługi dostępne na ekranie programatora. W tabeli 13.4 przedstawiono opis funkcji przycisków.

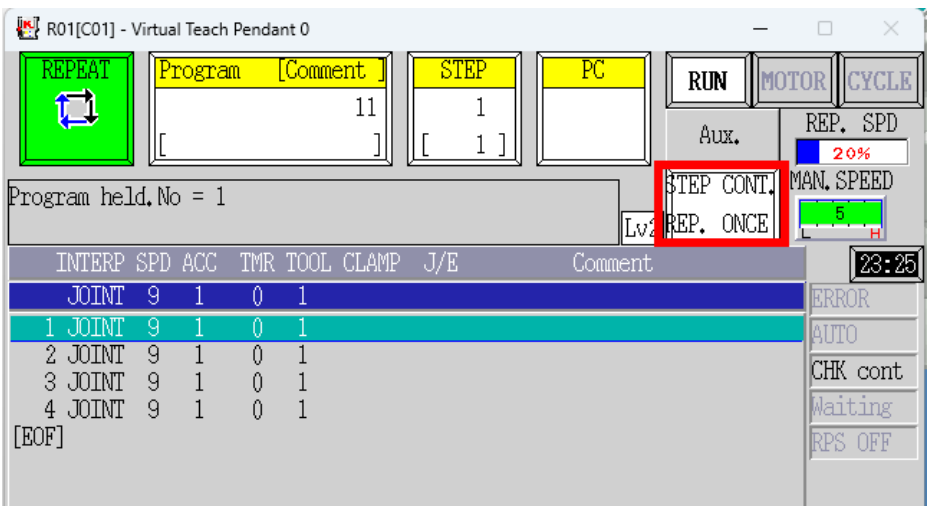
Tabela 13.4. Opis funkcji przycisków ekranowych programatora ręcznego

Nr	Przycisk	Funkcja
1	HOLD RUN	Uruchamia/zatrzymuje robota. Po zatrzymaniu robota wyświetlany jest tekst „HOLD". Po uruchomieniu robota wyświetlany jest tekst „RUN" – wymagane użycie przycisku A
2	MOTOR MOTOR	Włącza/wyłącza zasilanie silników – wymagane użycie przycisku A
3	CYCLE CYCLE	Włącza wykonywanie cykli – wymagane użycie przycisku A
4	Aux.	W przypadku wersji standardowej wyświetlany jest ekran funkcji pomocniczych Auxiliary Function
5	JOINT TOOL T1	Klawisz <Coord(inates)>. Wybiera układ współrzędnych dla sterowania ręcznego w trybie uczenia. Każde wciśnięcie powoduje zmianę układu współrzędnych: Ukł. wsp. osi (Joint) → Ukł. wsp. główny (Base) → Ukł. wsp. narzędzia (Tool) → Ukł. wsp. osi (Joint)
6	MAN. SPEED CHK. SPEED 3 L H	Wybiera prędkość dla sterowania ręcznego. Wciśnięcie klawisza przełącza pomiędzy poziomami (1 do 5). Po wciśnięciu przycisku A. Wybiera poziom prędkości kontroli. Wciśnięcie klawisza przełącza pomiędzy poziomami (1 do 5)



Rys. 13.9. Ekran programatora ręcznego [26]

W trybie odtwarzania dostępna jest funkcja umożliwiająca wybór sposobu odtwarzania (rys. 13.10). Po wciśnięciu przycisku należy dokonać wyboru sposobu realizacji kroku, jak i cyklu.



Rys. 13.10. Widok ekranu programatora ręcznego w trakcie realizacji procedury odtwarzania

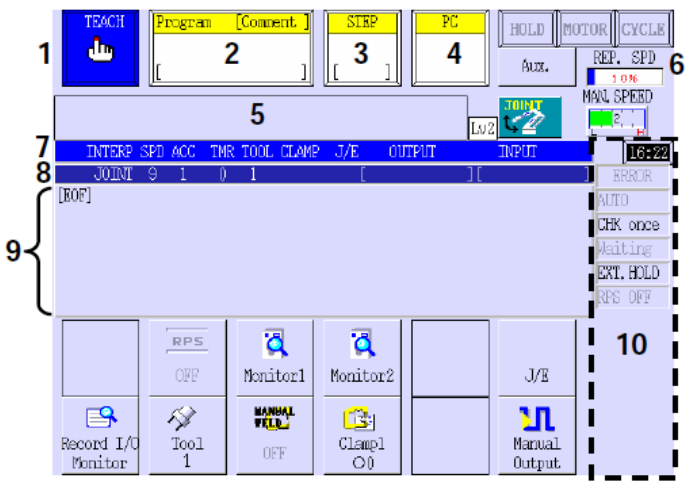
W tabeli 13.5 przedstawiono opis działania wybieranych funkcji.

Tabela 13.5. Opis funkcji przycisków ekranowych programatora ręcznego

		Step	
		ONCE	CONTINUOUS
Repeat	ONCE	Wykonanie jednego kroku i zatrzymanie się. (Przycisk Cycle aktywny). Wciśnięcie klawiszy A + <Step Forward> powoduje wykonanie następnego kroku. Wykonywanie programu jest zatrzymywane po ostatnim kroku*	Kroki są wykonywane w sposób ciągły. Wykonywanie programu jest zatrzymywane po dojściu do ostatniego kroku*
	CONTINUOUS	Kroki wykonywane są jeden po drugim, jak opisano powyżej. (Przycisk Cycle aktywny.) Wciśnięcie klawiszy A + <Step Forward> powoduje wykonanie następnego kroku. Po dojściu do ostatniego kroku* wykonywane jest powtarzanie, począwszy od pierwszego kroku. Jeżeli aktywny jest tryb RPS, wykonywany program jest zmieniany za pomocą sygnału w kroku z instrukcją END	Kroki wykonywane są w sposób ciągły, a po dojściu do ostatniego kroku* wykonywane jest powtarzane począwszy od pierwszego kroku. Jeżeli aktywny jest tryb RPS, wykonywany program jest zmieniany za pomocą sygnału w kroku z instrukcją END. Jest to ustawienie dla normalnego trybu odtwarzania

13.3.3. Szczegółowe informacje o ekranie programatora ręcznego

Obszary A i B programatora ręcznego są podzielone na dziesięć obszarów składowych, jak pokazano na rysunku 13.11. W tabeli 13.6 przedstawiono opis informacji wyświetlanych w wyróżnionych obszarach.



Rys. 13.11. Obszary składowe wyświetlacza programatora ręcznego

Tabela 13.6. Opis informacji wyświetlanych na wyświetlaczu programatora

Nr	Obszar	Opis
1	Obszar Teach/Repeat	Wyświetla informacje dotyczące trybu Teach/Repeat. Okno ma kolor niebieski w trybie Teach oraz zielony w trybie Repeat
2	Obszar Program/ Comment	W górnym wierszu wyświetlany jest numer bieżącego programu. W drugim wierszu pokazywany jest komentarz programu. Wciśnięcie tego obszaru powoduje wyświetlenie rozwijalnego menu
3	Obszar kroków	W górnym wierszu wyświetlany jest numer bieżącego kroku. W drugim wierszu pokazywany jest komentarz do zbieżności osi. Wciśnięcie tego obszaru powoduje wyświetlenie rozwijalnego menu
4	Obszar PC Program	Wyświetla informacje o aktualnie wykonywanym programie PC. Można uruchomić maksymalnie pięć programów, a pierwsze z trzech uruchomionych są wyświetlane w tym miejscu. Obok nazwy wykonywanego programu PC pokazywany jest znak „*”
5	Obszar Message	Wyświetla komunikaty o błędach i inne informacje
6	Obszar Repeat Speed	Wyświetla prędkość procentową w czasie pracy robota w trybie odtwarzania. Wciśnięcie tego obszaru powoduje wyświetlenie rozwijalnego menu
7	Obszar wyświetlania składowych instrukcji.	Wyświetla elementy składowe instrukcji złożonej
8	Obszar wyświetlania wartości parametrów	Wyświetla wartości parametrów, włączając w to parametry pomocnicze, ale bez danych pozycji dla instrukcji złożonej w aktualnie wykonywanym kroku
9	Obszar Program	Wyświetla zawartość uczonego programu. Wciśnięcie tego obszaru powoduje wyświetlenie rozwijalnego menu
10	Obszar Status	Wyświetla aktualny status robota. 1. Elementy zawsze wyświetlane w tych samych miejscach: Error, AUTO, CHK cont/CHK once, Waiting. 2. Elementy wyświetlane w różnych miejscach, w zależności od ich wystąpienia: External hold, Emergency stop, Gun No., Dry run itp. 3. Elementy zawsze wyświetlane w tych samych miejscach, o ile to jest konieczne: Wait, cancel

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie podstawowych umiejętności programowania robotów przemysłowych.

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

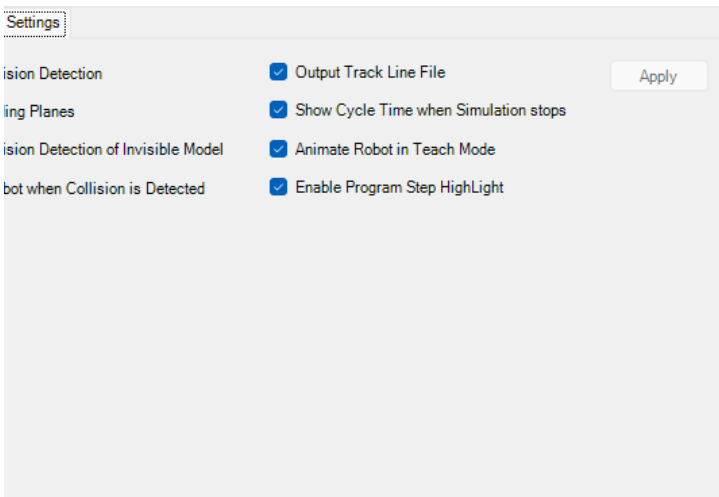
- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z oprogramowania K-ROSET. Prowadzący może wskazać inny rodzaj oprogramowania do realizacji ćwiczenia.

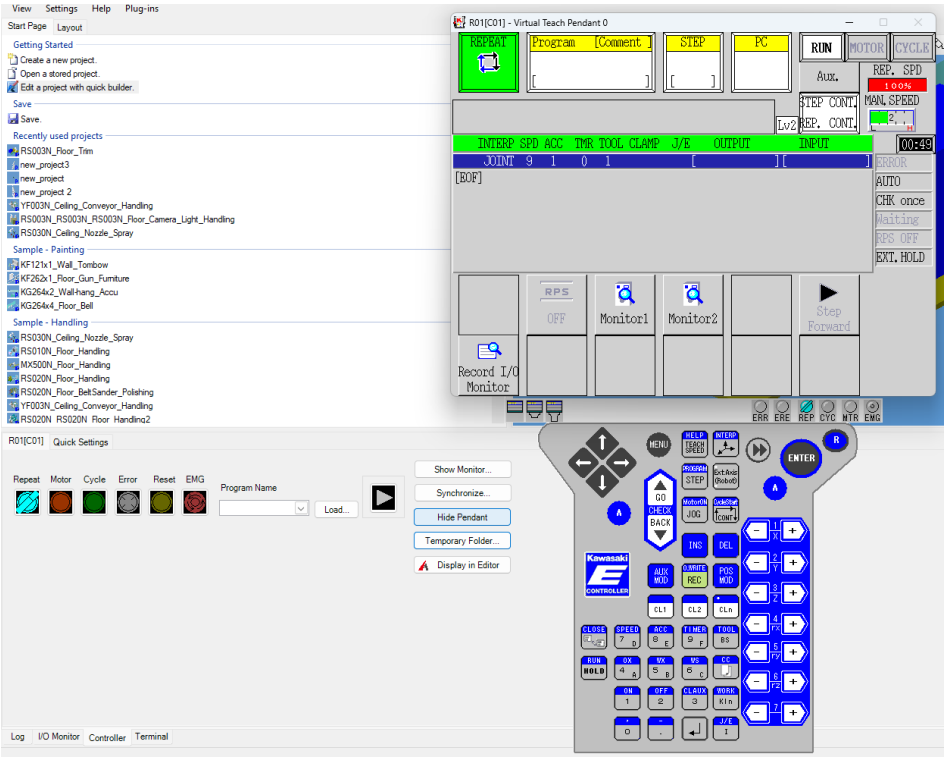
Treść zadania

1) Napisać program sterujący realizujący zdefiniowaną funkcję.
2) Przeprowadzić symulację działania programu.

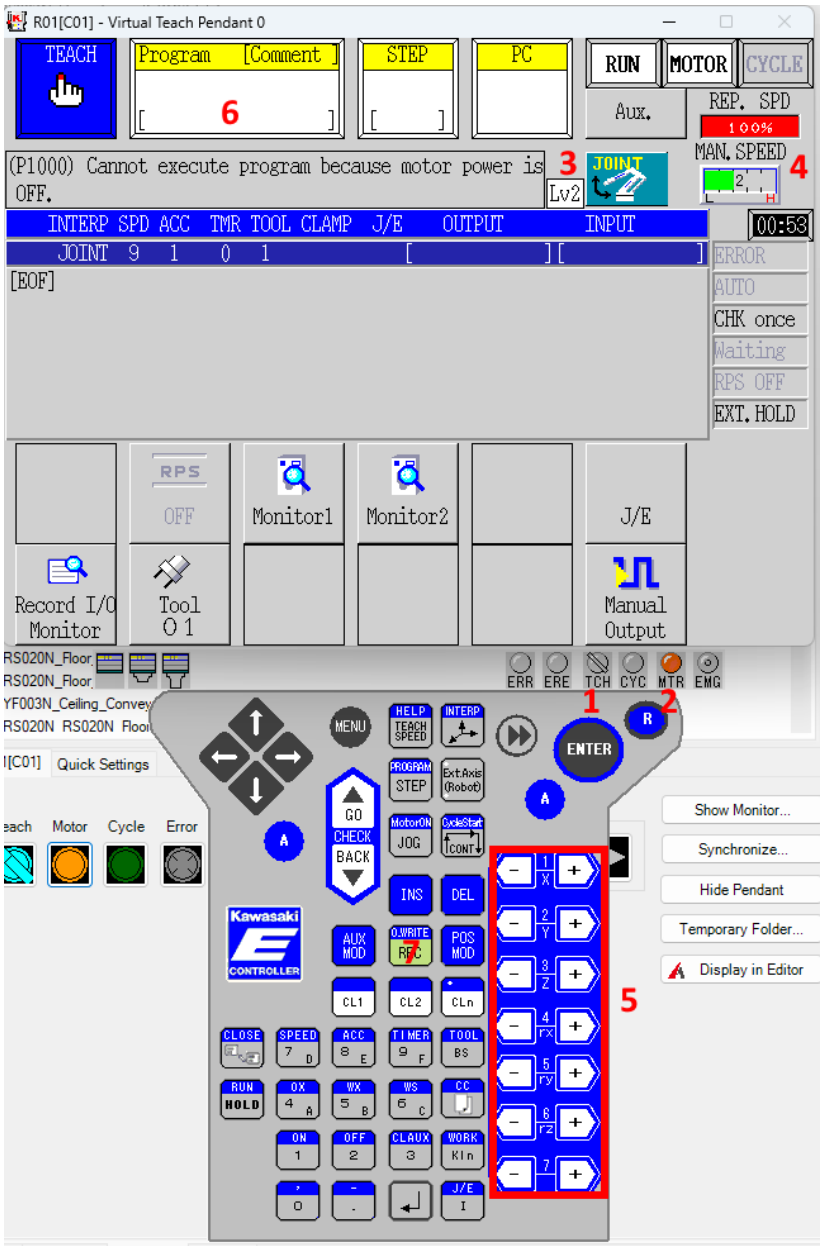
W celu realizacji zadania należy uruchomić program K-Roset. W grupie projektów przykładowych należy odnaleźć i uruchomić skonfigurowane wirtualne stanowisko o nazwie RS003N_Floor_Trim. Korzystając z funkcji prawego przycisku myszy i funkcji scroll, należy ustawić odpowiedni dla siebie układ widoczności modelu. Można do ustawienia odpowiedniej widoczności użyć narzędzia Plug-ins/View Manager. Należy aktywować zakładkę Controller/Quick Settings, zaznaczyć wszystkie dostępne funkcje i zatwierdzić je przyciskiem Apply.



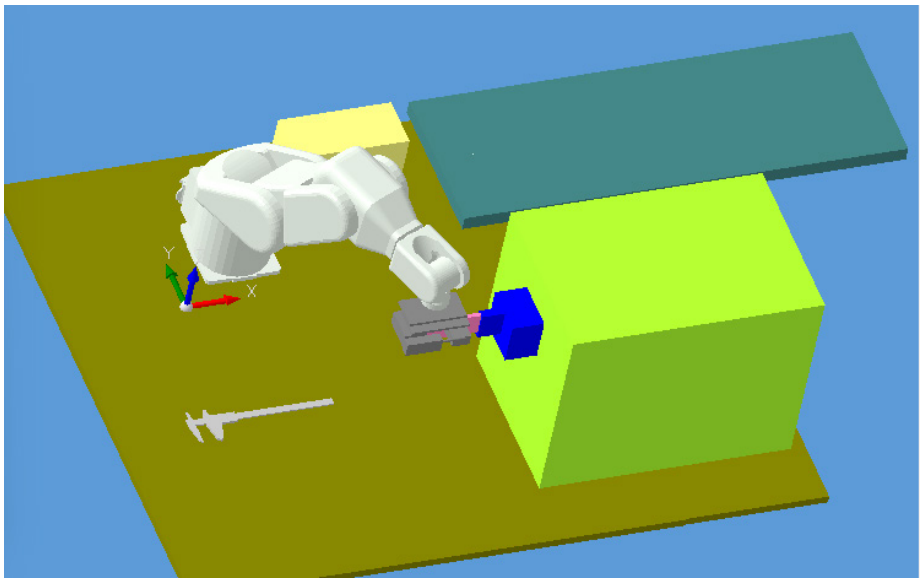
W zakładce Controller/R01(C01) należy aktywować panel programowania ręcznego poprzez wciśnięcie przycisku Hide Pendant.

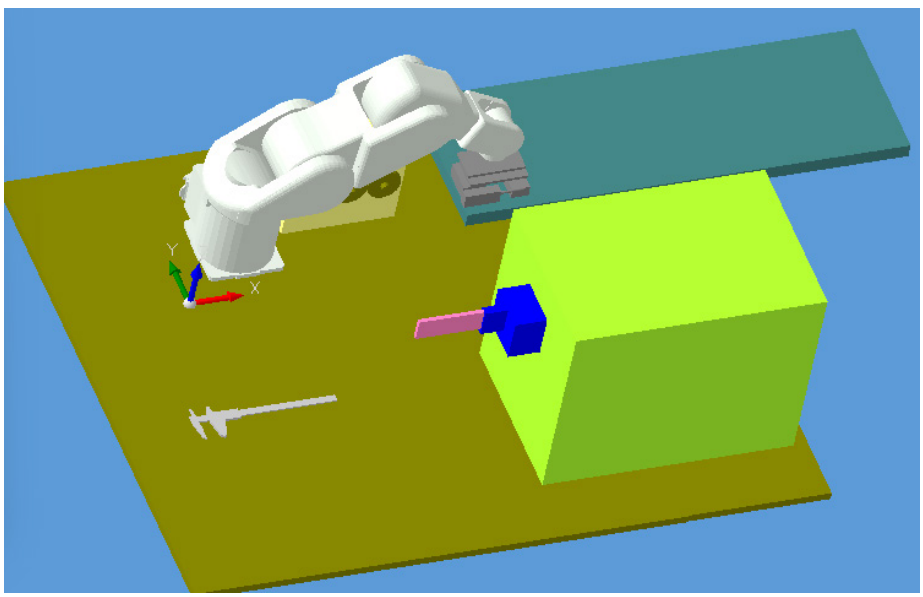


Przy wykorzystaniu przełącznika 1 należy przełączyć panel do poziomu uczenia, a następnie uruchomić silniki przyciskiem 2. Wybierając odpowiednie układy współrzędnych, należy sterować ramionami robota z wykorzystaniem przycisków 5 przy dopasowanej do potrzeb sterowania prędkości 4. Przed przystąpieniem do zapisu programu należy zdefiniować jego nazwę z wykorzystaniem pola 6. Po ustaleniu oczekiwanych pozycji w cyklu pracy robota należy je zapisywać z wykorzystaniem przycisku 7.

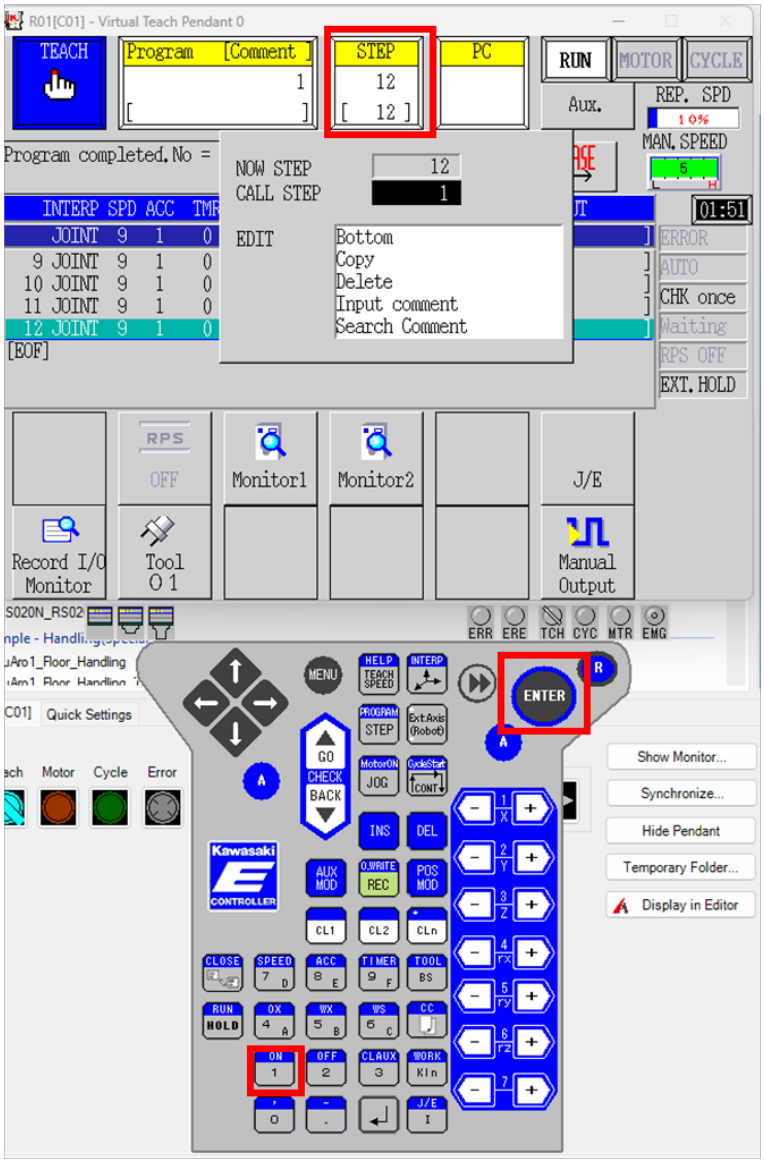


Realizacja programu ma polegać na przeniesieniu elementu z obrabiarki na pole odkładcze, jak pokazano na poniższych rysunkach. Cały cykl ma być realizowany w sposób bezpieczny bez ryzyka kolizji z zachowaniem warunku prawidłowego odebrania i odłożenia części.

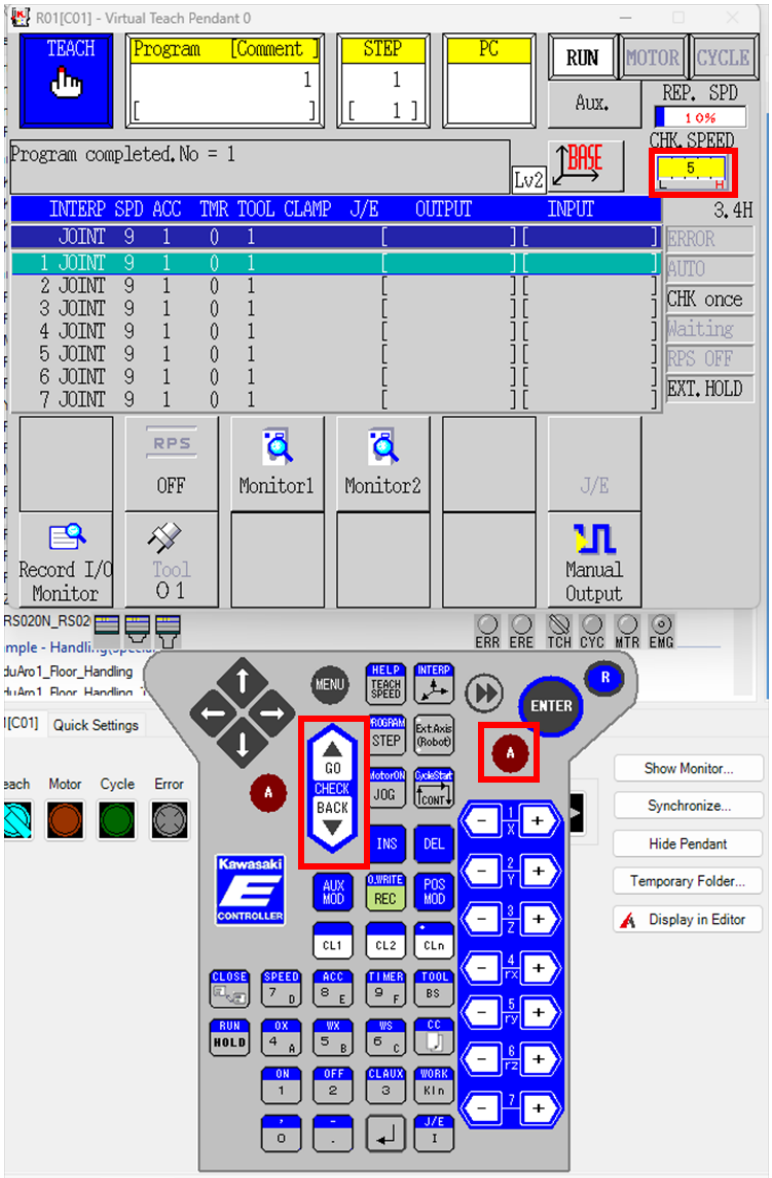




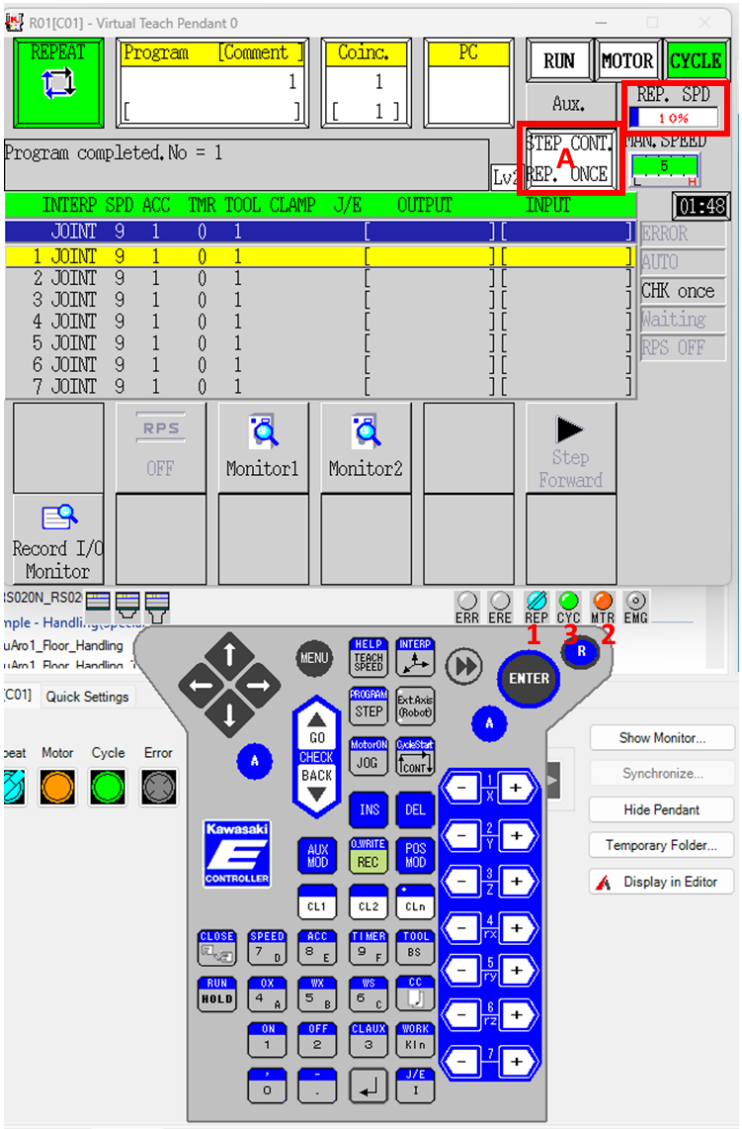
Po opracowaniu programu należy przeprowadzić proces odtworzenia programu w trybie uczenia. W tym celu należy użyć pola STEP i wpisać z klawiatury panelu wartość 1 odpowiadającą pierwszemu krokowi programu. Wartość tę należy zatwierdzić przyciskiem ENTER.



W celu realizacji następujących po sobie kroków programu należy ustawić prędkość robota przy wykorzystaniu aktywnego pola CHK SPEED dostępnego po wciśnięciu przycisku funkcyjnego A. Przy wciśniętym przycisku A, korzystając z funkcji GO-BACK, należy sprawdzić poprawność działania programu. W przypadku wykrycia błędów należy je usunąć poprzez edycję programu.



Po zakończeniu procesu symulacji należy ponownie wpisać wartość 1 w pozycję STEP, a następnie ustawić wartość prędkości odtwarzania programu na 10% w polu REP. SPD. W polu A należy ustawić sposób realizacji cyklu zgodnie z poniższym rysunkiem. Następnie należy przełącznik 1 ustawić w pozycji REP. Uruchomić silniki przyciskiem 2 i aktywować realizację cyklu przyciskiem 3.



Sprawozdanie powinno zawierać:

- analizę zadania,
- zdjęcia potwierdzające napisanie programu,
- zdjęcia potwierdzające przeprowadzenie testu programu wraz z wynikiem symulacji czasu cyklu,
- opis działania układu sterowania z omówieniem i wnioskami.

ROZDZIAŁ 14

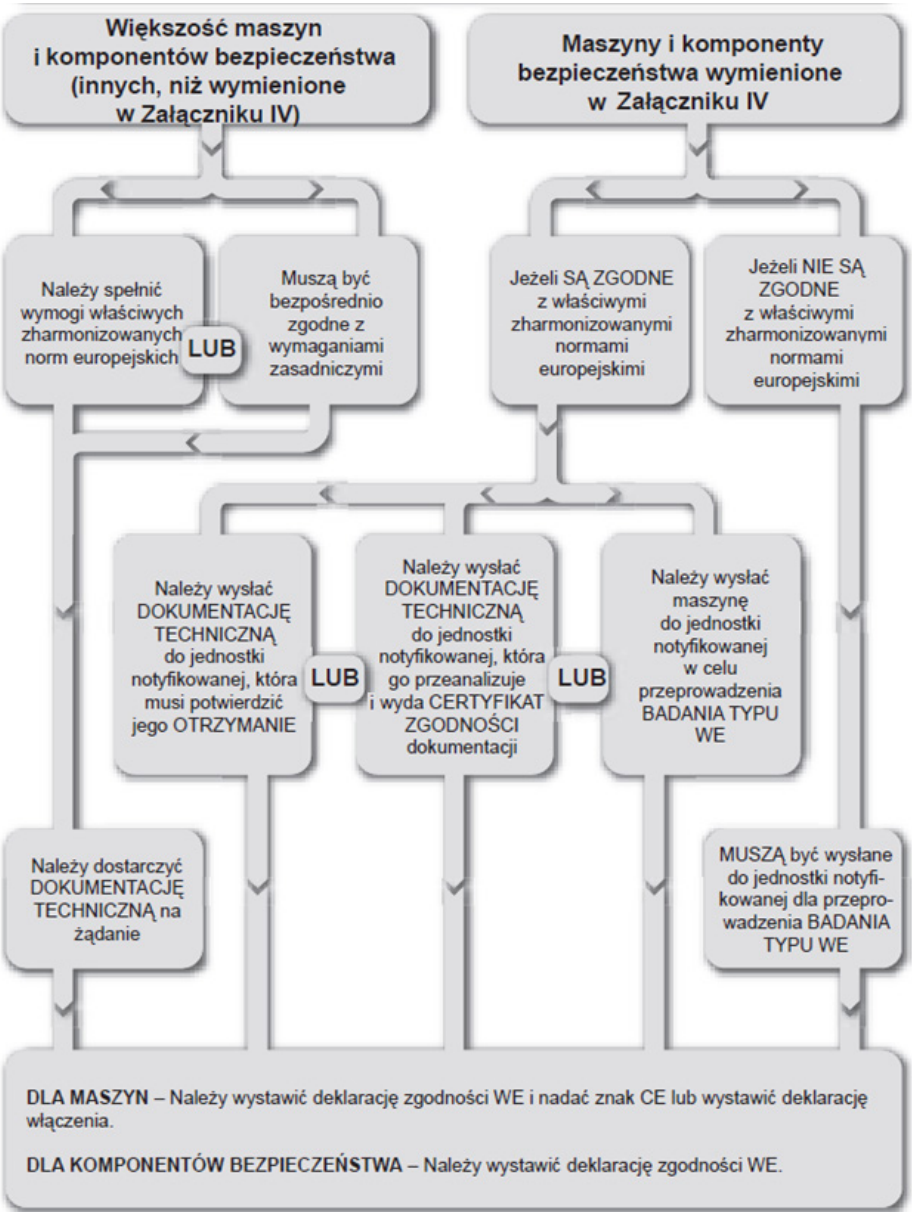
Konfiguracja elementów bezpieczeństwa

Wymagania dotyczące zabezpieczenia maszyn ulegają zmianie wraz z rozwojem automatyzacji. Dawniej zabezpieczenia procesu pracy wpływały na obniżenie wydajności, co powodowało, że często z nich rezygnowano. Dzięki rozwojowi techniki można obecnie zintegrować osłony i urządzenia ochronne w procesie pracy bez wpływu na wydajność. Tym samym nie stanowią one już przeszkody dla operatora, a często wspomagają produktywność. Z tego powodu obecnie powszechnie stosuje się zintegrowane urządzenia ochronne w procesie wytwórczym [6].

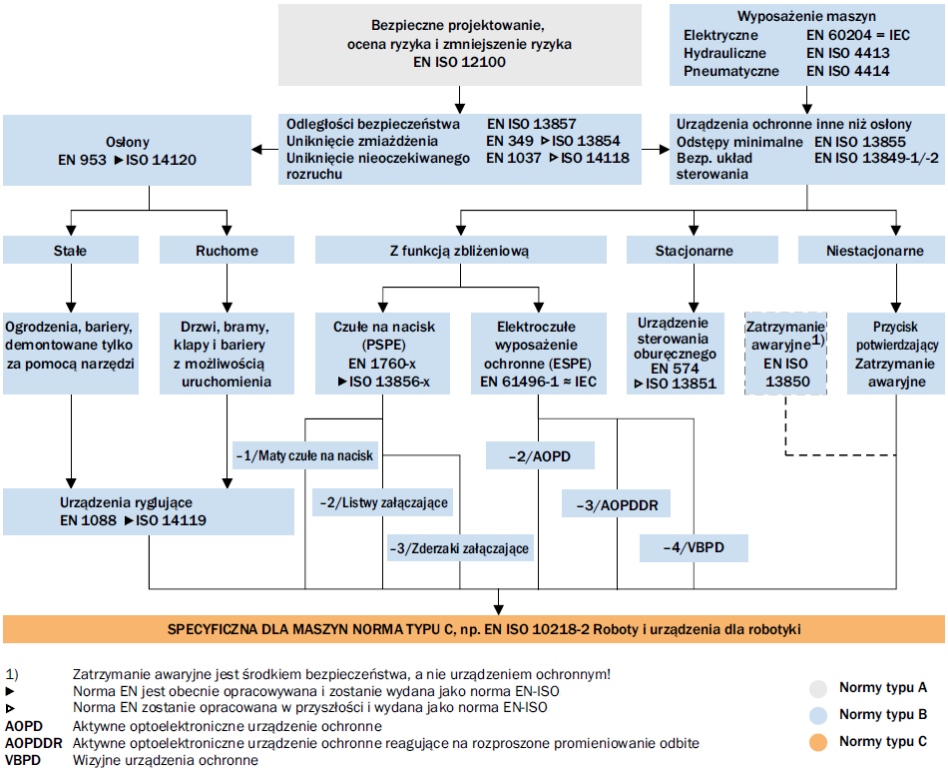
Jednym z podstawowych celów Wspólnoty Europejskiej jest ochrona zdrowia obywateli zarówno w życiu prywatnym, jak i zawodowym. Drugim podstawowym zadaniem jest stworzenie wspólnego rynku ze swobodnym przepływem towarów. Aby móc równocześnie realizować cel swobodnego przepływu towarów i ochrony obywateli, Komisja Europejska, względnie Rada Unii Europejskiej, wydała różnego rodzaju dyrektywy, które muszą być przetransponowane przez kraje członkowskie do prawa krajowego. W dyrektywach zdefiniowane zostały podstawowe cele i wymagania (rys. 14.1). W dziedzinie bezpieczeństwa maszyn i ochrony pracy zostały wydane następujące dyrektywy [6]:

- dyrektywa maszynowa, skierowana do producentów maszyn,
- dyrektywa dotycząca użytkowania sprzętu roboczego, skierowana do użytkowników maszyn,
- dodatkowe dyrektywy, np. dyrektywa niskonapięciowa, dyrektywa w sprawie kompatybilności elektromagnetycznej, dyrektywa ATEX.

Na rys. 14.2 przedstawiono procedurę postępowania w czasie prowadzenia przeglądu spełnienia przez maszynę bądź urządzenie wymagań norm bezpieczeństwa.



Rys. 14.1. Dyrektywa UE dotycząca sprzętu roboczego [27]



Rys. 14.2. Przegląd urządzeń ochronnych i odpowiednich norm [28]

14.1. Środki techniczne a bezpieczeństwo maszyn

Przy tworzeniu koncepcji bezpieczeństwa maszyny należy uwzględnić [6]:

- cechy maszyny,
- cechy otoczenia,
- czynniki ludzkie,
- cechy projektu,
- cechy urządzeń ochronnych.

W zależności od tych cech należy określić, jakie urządzenia ochronne są potrzebne i w jaki sposób powinny być wykorzystane.

Cechy maszyny

Należy uwzględnić przedstawione niżej cechy maszyny [6]:

- Zdolność do zatrzymania niebezpiecznego ruchu w każdej chwili (jeśli to jest niemożliwe, należy stosować osłony lub urządzenia ochronne niwelujące zagrożenie).
- Zdolność do zatrzymania niebezpiecznego ruchu bez dodatkowego narażenia (jeśli to jest niemożliwe, wybrać inną konstrukcję lub inne urządzenie ochronne).
- Możliwość narażenia przez wyrzucane części (jeśli jest to prawdopodobne, należy stosować osłony).
- Czasy zatrzymania (znajomość czasów zatrzymania jest konieczna do zapewnienia skuteczności działania urządzenia ochronnego).
- Możliwość kontroli czasu (konieczne w sytuacji, gdy mogą wystąpić zmiany związane z procesem starzenia i zużycia).

Cechy otoczenia

Należy uwzględnić przedstawione niżej cechy otoczenia [6]:

- zakłócenia elektromagnetyczne, promieniowanie zakłócające,
- drgania, wstrząsy,
- światło zewnętrzne, światło zakłócające działanie czujników, iskry towarzyszące spawaniu,
- powierzchnie lustrzane,
- zabrudzenia (opary, wióry, zapylenie),
- zakres temperatur,
- wilgotność, warunki atmosferyczne.

Czynniki ludzkie

Należy uwzględnić przedstawione niżej czynniki ludzkie [6]:

- przewidywane kwalifikacje operatora maszyny,
- przewidywane przemieszczanie się ludzi,
- prędkość zbliżania się (K),
- możliwości obejścia układów zabezpieczeń urządzeń ochronnych,
- możliwe do przewidzenia niewłaściwe użycie.

Cechy projektu

Zaleca się realizowanie funkcji bezpieczeństwa za pomocą certyfikowanych elementów zabezpieczających. Ułatwia to proces projektowania i późniejszą weryfikację spełnienia wymagań zawartych w normach.

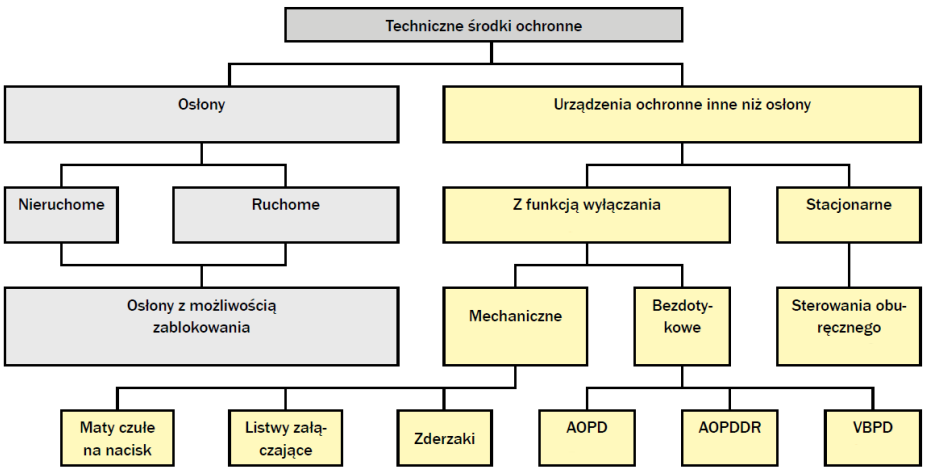
Funkcja bezpieczeństwa jest zwykle realizowana przez kilka podsystemów. Często nie ma możliwości zrealizowania podsystemu przy użyciu wyłącznie certyfikowanych elementów zabezpieczających, które od razu pozwalają określić poziom bezpieczeństwa (PL/SIL). W takiej sytuacji trzeba go zbudować z kilku elementów dyskretnych. Poziom bezpieczeństwa zależy wówczas od zbioru parametrów.

Cechy urządzeń ochronnych

Brane pod uwagę cechy urządzenia ochronnego to [6]:

- właściwości i zastosowania urządzeń ochronnych (urządzenia elektroczułe, osłony itp.);
- parametry urządzeń ochronnych;
- możliwości integracji w układzie sterowania.

Na rys. 14.3 przedstawiono ścieżki wyboru urządzeń ochronnych.



Rys. 14.3. Technologia, wybór i stosowanie technicznych środków ochronnych [28]

W przypadku elektroczułego wyposażenia ochronnego (ESPE) działanie ochronne, w przeciwieństwie do urządzeń ochronnych o charakterze osłony, nie polega na fizycznym odseparowaniu osoby zagrożonej od zagrożenia. Działanie ochronne polega na czasowym odseparowaniu. Tak długo, jak osoba przebywa w określonym obszarze, nie są tam realizowane żadne niebezpieczne funkcje maszyny. Wszystkie niebezpieczne funkcje muszą zostać zatrzymane. To zatrzymanie wymaga pewnego czasu, tak zwanego „czasu dobiegu". Urządzenia ESPE muszą w odpowiednim czasie rozpoznać zbliżenie osoby do obszaru zagroże-

nia, a także kontrolować obecność osoby w obszarze zagrożenia [6]. Międzynarodowa norma IEC 61496-1 zawiera wymagania techniki bezpieczeństwa w odniesieniu do urządzeń ESPE, niezależnie od ich technologii lub zasady działania.

Elektroczułe wyposażenie ochronne stosowane jest głównie tam, gdzie operator musi często lub regularnie sięgać do maszyny i jest w związku z tym narażony na niebezpieczeństwo. Zastosowanie urządzeń ESPE zamiast osłon mechanicznych (w postaci pokryw, ogrodzeń itp.) ma wiele zalet [6]:

- Skraca czas dostępu, gdyż operator nie musi czekać na otwarcie urządzenia ochronnego.
- Zwiększa produktywność poprzez skrócenie czasu dostępu do maszyny.
- Poprawia ergonomię w miejscu pracy, gdyż operator nie musi wykonywać dodatkowych czynności w celu otwarcia przestrzeni dostępu.

Ponieważ elektroczułe wyposażenie ochronne nie stanowi bariery fizycznej, nie jest w stanie chronić osób przed emisjami, chociażby w postaci wyrzucanych części maszyny, obrabianych przedmiotów lub wiórów, ani przed promieniowaniem jonizacyjnym, wysoką temperaturą, hałasem, rozpryskami chłodziw i smarów itp. Zastosowanie urządzeń ESPE nie jest możliwe w maszynach, w których długi czas dobiegu wymagałby niemożliwych do realizacji odległości minimalnych usytuowania urządzeń ochronnych. Elektroczułe wyposażenie ochronne może realizować funkcje rozpoznawania osób na różnej zasadzie: optycznej, pojemnościowej, ultradźwiękowej, z użyciem mikrofal i pasywnego rejestrowania w podczerwieni [6].

Najczęściej stosowanym elektroczułym wyposażeniem ochronnym są urządzenia optoelektroniczne, takie jak [6]:

- Optyczne kurtyny i bariery bezpieczeństwa (określane też terminem AOPD – *active opto-electronic protective device*, aktywne optoelektroniczne urządzenia ochronne).
- Laserowe skanery bezpieczeństwa (określane też terminem AOPDDR – *active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection*, aktywne optoelektroniczne urządzenia ochronne reagujące na odbite promieniowanie rozproszone).
- Urządzenia ochronne współpracujące z kamerą (VBPD – *vision based protective devices*, wizyjne urządzenia ochronne).

Zdolność detekcji definiuje się jako granicę danego parametru czujnika, który powoduje zadziałanie elektroczułego wyposażenia ochronnego (ESPE). W praktyce chodzi tu o wielkość najmniejszego obiektu, który jest zawsze rozpoznawany w zdefiniowanym obszarze nadzoru urządzenia ochronnego. Zdolność detekcji jest podawana przez producenta. Z reguły jest ona ustalana na podstawie odstępu między wiązkami i efektywnej średnicy wiązki światła. W ten sposób zapewnia się, że obiekt o danej wielkości zawsze będzie całkowicie zakrywać wiązkę światła i dzięki temu będzie rozpoznawany [6].

14.2. Kurtyny i bariery świetlne

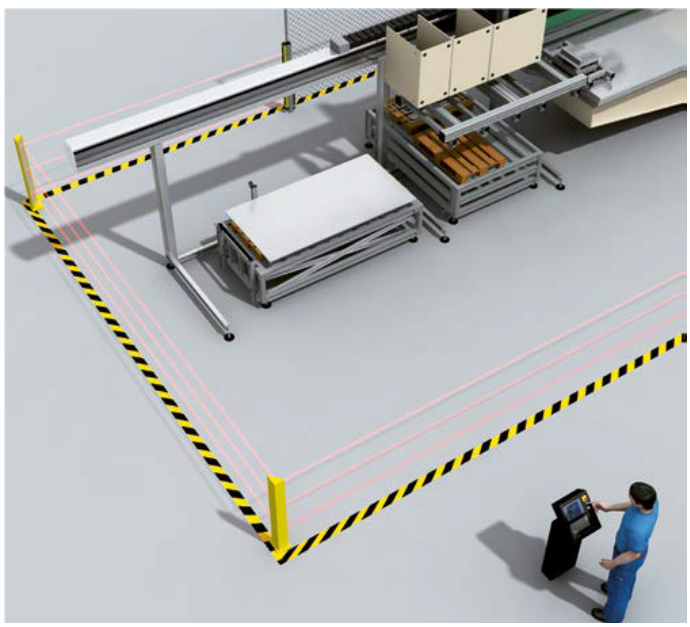
Kurtyny i bariery świetlne to bardzo praktyczne urządzenia zabezpieczające, zapewniające dobry dostęp do wyposażenia maszyny i nadzorujące duże obszary. Dostępne są różne systemy w zależności od funkcji i wymagań pod względem poziomu bezpieczeństwa. Istnieje kilka poziomów bezpieczeństwa zależnych od rodzaju zagrożenia i stopnia ryzyka. Urządzenia te stosuje się [6]:

- w przypadku konieczności stałego dostępu do strefy ryzyka, np. w maszynach obsługiwanych ręcznie (rys. 14.4);
- w razie potrzeby zabezpieczenia dużych stref (rys. 14.5);
- w przypadku ciągłego przemieszczania towarów;
- tam, gdzie zabezpieczenia mechaniczne są niepraktyczne lub nieodpowiednie ze względów ergonomicznych.

W niektórych aplikacjach, z powodów praktycznych, konieczne może być czasowe wyłączenie funkcji ochronnych urządzenia optoelektronicznego. Zawieszenie działania (funkcji mutingu) optoelektronicznego urządzenia ochronnego wymaga dokonania oceny ryzyka dla danej maszyny, zgodnie z normą EN954-1, w celu określenia, z jakim ryzykiem wiąże się zawieszenie działania optoelektronicznego urządzenia ochronnego. Muting stosowany jest w następujących sytuacjach:

- Materiał przechodzi przez urządzenie optoelektroniczne na etapie transportu w procesie zautomatyzowanym (rys. 14.6).
- Czynności wykonywane przy materiale wymagają, aby operator znajdował się w miejscu, w którym wpływa on na optoelektroniczne urządzenie zabezpieczające.

Rys. 14.4. Przykład zabezpieczenia strefy wymagającej okresowego działania operatora [28]



Rys. 14.5. Przykład zabezpieczenia dużej strefy [28]

Rys. 14.6. Przykłady funkcji mutingu w procesie transportu [29]

14.3. Zasady doboru kurtyn świetlnych

Jednym z elementów doboru układu bezpieczeństwa jest określenie jego wymaganej kategorii. W tym celu należy [6]:

- wykonać analizę ryzyka i określić wymagania dla urządzeń ochronnych,
- określić stopień ekspozycji operatora i innych pracowników w strefie ryzyka,
- ocenić, jak poważne obrażenie może zostać spowodowane w razie ewentualnego wypadku.

  Częstość narażenia na zagrożenie można ocenić następująco:
- niska – raz na dzień,
- średnia – od jednego razu na dzień do jednego razu na godzinę,
- wysoka – częściej niż raz na godzinę.

  Obrażenia, ze względu na stopień, można podzielić na:
- obrażenia niegroźne – niepozostawiające trwałych skutków,
- obrażenia groźne – pozostawiające trwałe skutki.

W oparciu o przedstawioną ocenę należy dokonać wyboru kategorii bezpieczeństwa w sposób następujący (tab. 14.1) [30]:

Kategoria 2

W miejscach, w których mogą zostać spowodowane tylko niegroźne obrażenia (niepozostawiające trwałych skutków), a częstość narażenia na zagrożenie jest niska lub średnia, wymagany jest niski poziom bezpieczeństwa urządzeń ochronnych. Należy wybrać kurtynę świetlną o kategorii bezpieczeństwa co najmniej 2.

Kategoria 3

W miejscach, w których mogą zostać spowodowane niegroźne obrażenia (niepozostawiające trwałych skutków), lecz częstość narażenia na zagrożenie jest wysoka, bądź w których mogą zostać spowodowane groźne obrażenia (pozostawiające trwałe skutki), lecz częstość narażenia na zagrożenie jest niska lub średnia, wymagany jest wyższy poziom bezpieczeństwa urządzeń ochronnych. Należy wybrać kurtynę świetlną o kategorii bezpieczeństwa co najmniej 3.

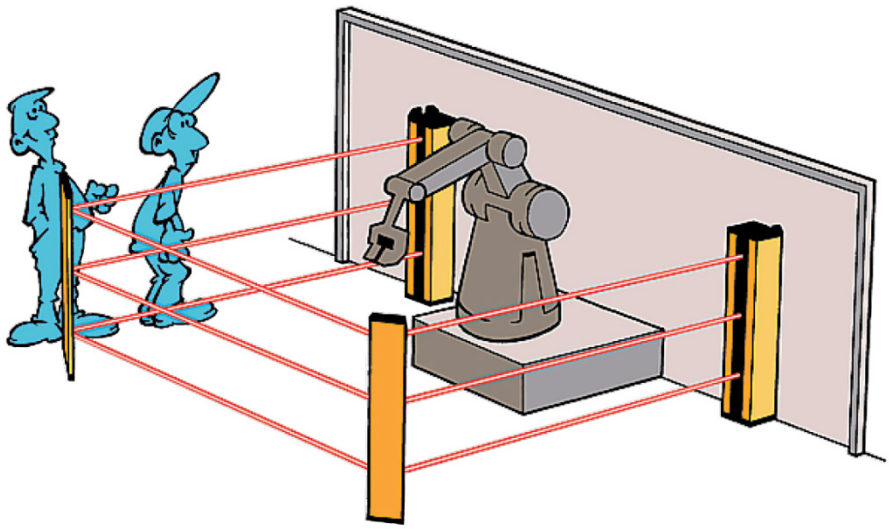
Kategoria 4

W miejscach, w których mogą zostać spowodowane poważne obrażenia (pozostawiające trwałe skutki), a częstość narażenia na zagrożenie jest wysoka, wymagany jest najwyższy poziom bezpieczeństwa urządzeń ochronnych. Należy wybrać kurtynę świetlną o kategorii bezpieczeństwa 4.

Obok kurtyn świetlnych w niektórych aplikacjach stosuje się bariery. Bariery świetlne stosowane są jako niewidoczne ogrodzenie strefy ryzyka (rys. 14.7). Gdy naruszona zostanie bariera świetlna, maszyna zatrzymuje się. Bariera świetlna może mieć jeden lub kilka promieni świetlnych w zależności od potrzeby określonej w ramach analizy ryzyka [6].

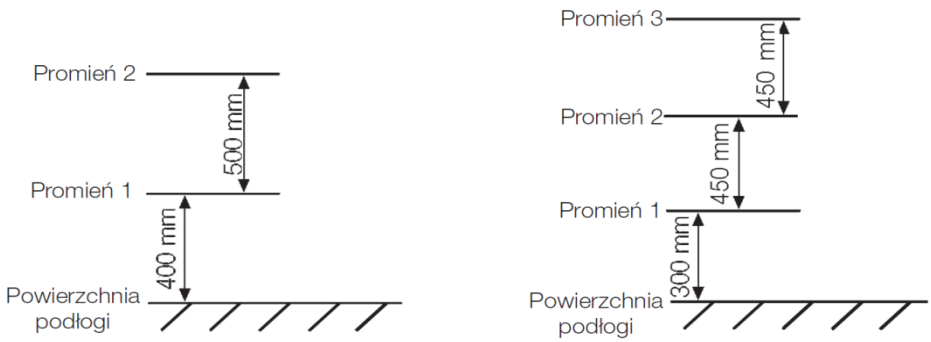
Tabela 14.1. Zależność kategorii bezpieczeństwa od czynników ryzyka [30]

Częstość narażenia	Niska	Średnia	Wysoka
obrażenia niegroźne	kat. 2	kat. 2/3	kat. 3
obrażenia groźne	kat. 3	kat. 3/4	kat. 4



Rys. 14.7. Przykład zastosowania bariery świetlnej [30]

Przepisy montażowe, zgodne z normą EN999, stanowią, że bariery świetlne należy montować w taki sposób, aby pierwszy promień świetlny i odległość między promieniami kształtowały się następująco [6]:



Kurtyny świetlne można montować pionowo i poziomo. Montowane pionowo wykrywają, np. czy ręka została wsunięta w strefę zagrożenia (rys. 14.8). Kurtyny montowane poziomo zapewniają np. detekcję obiektów znajdujących się w strefie przed niebezpiecznymi ruchomymi elementami maszyny.

Dodatkowa odległość bezpieczeństwa wymagana przy instalacji kurtyny zależy od jej rozdzielczości, czyli zdolności wykrywania obiektów o różnych wymiarach. W celu obliczenia całkowitej odległości umieszczenia kurtyny od miejsca zagrożenia należy wziąć pod uwagę czas zatrzymania maszyny i czas reakcji urządzeń ochronnych (kurtyn i przekaźników bezpieczeństwa).

Obliczanie odległości bezpiecznej, na jakiej powinna być zamontowana kurtyna, przeprowadza się w oparciu o normę EN999. Do obliczenia jej wartości stosuje się wzór:

$$S = K \cdot T + C$$

gdzie:

S – najmniejsza dopuszczalna odległość między urządzeniem optoelektrycznym i miejscem zagrożenia [mm],

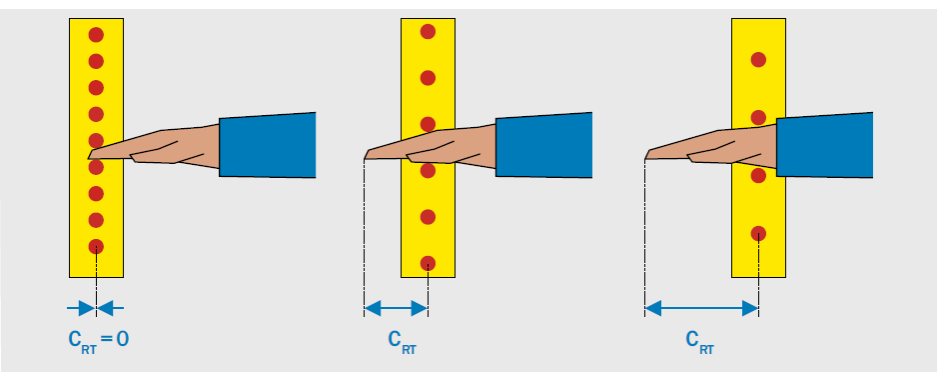
K – szybkość ruchu części ciała operatora, która może dostać się do strefy zagrożenia [mm/s],

T – całkowity czas zatrzymania $t_1 + t_2$,

t_1 – sumaryczny czas reakcji urządzeń ochronnych [s],

t_2 – czas zatrzymania maszyny [s],

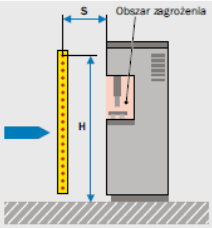
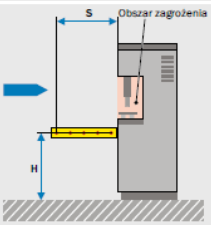
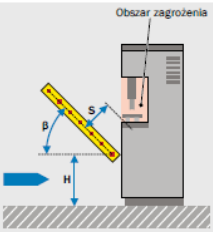
C – odległość dodatkowa wynikająca z rozdzielczości urządzenia optoelektrycznego (rys. 14.8) lub dodatkowej odległości wynikającej z wysokości kurtyny.



Rys. 14.8. Przykłady nierozpoznanej odległości sięgania przez zabezpieczające kurtyny świetlne o różnej zdolności detekcji [28]

W tabeli 14.2 podano wzory stosowane do obliczania minimalnej odległości S w zależności od sposobu zamontowania kurtyny świetlnej i jej rodzaju.

Tabela 14.2. Sposób obliczania odległości minimalnej kurtyny w zależności od sposobu jej zamontowania i rozdzielczości [28]

Zbliżanie pod kątem prostym: β = 90° (± 5°)			
	**Krok 1. Obliczenie minimalnej odległości S**		
	d ≤ 40 mm	S = 2000 × T + 8 × (d – 14) Jeśli S > 500 mm, wówczas należy przyjąć: S = 1600 × T + 8 × (d –14). W takim przypadku S nie może być < 500 mm.	Odstęp minimalny S nie może być < 100 mm. C = 8 × (d – 14) jest tutaj dodatkową odległością w milimetrach, która reprezentuje wtargnięcie do obszaru zagrożenia **przed** wyzwoleniem funkcji urządzenia ochronnego.
	40 < d ≤ 70 mm	S = 1600 × T + 850	Wysokość najniższej wiązki ≤ 300 mm Wysokość najwyższej wiązki ≥ 900 mm
	d > 70 mm	S = 1600 × T + 850	**Liczba wiązek** / **Zalecane wysokości** 4 / 300, 600, 900, 1200 mm 3 / 300, 700, 1100 mm 2 / 400, 900 mm (400 mm wolno przyjąć tylko wtedy, gdy nie ma możliwości podczołgania się).
	Krok 2. Obliczenie wymaganej wysokości górnej krawędzi pola ochronnego		
Zbliżanie równoległe: β = 0° (± 5°)			
	**Krok 1. Obliczenie minimalnej odległości S**		
		S = 1600 × T + (1200 – 0,4 × H) gdzie C = (1200 – 0,4 × H) ≥ 850 mm	H ≤ 1000 mm
	Krok 2. Obliczenie wymaganej rozdzielczości w zależności od wysokości pola ochronnego		
		$d \le \frac{H}{15} + 50$ mm	H ≤ 1000 mm d ≤ 117 mm
Zbliżanie pod kątem: 5° < β < 85°			
	β > 30°	Por. zbliżanie pod kątem prostym.	$d \le \frac{H}{15} + 50$ mm odnosi się do najniższej wiązki. Odległość S stosuje się wobec najbardziej oddalonej od obszaru zagrożenia wiązki światła, której wysokość jest ≤ 1000 mm.
	β < 30°	Por. zbliżanie równoległe.	

S: minimalna odległość
H: wysokość pola ochronnego (płaszczyzny detekcji)
d: rozdzielczość ESPE
β: kąt pomiędzy płaszczyzną detekcji a kierunkiem zbliżania
T: czas dobiegu całego systemu

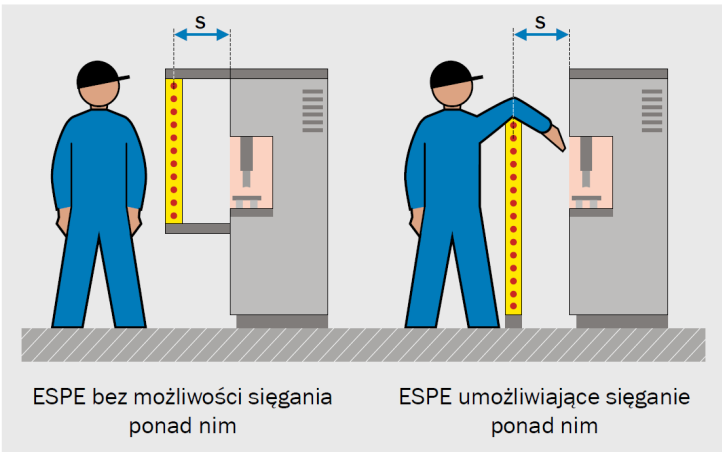
Podczas montażu urządzeń ochronnych należy wykluczyć następujące błędy (rys. 14.9) [6]:

- miejsce zagrożenia może być dostępne tylko przez pole ochronne,
- miejsca zagrożeń nie mogą być dostępne poprzez sięgnięcie nad/pod/przez pole ochronne,

- jeśli istnieje możliwość ominięcia urządzeń ochronnych, muszą działać dodatkowe środki zapobiegawcze.

Po obliczeniu minimalnej odległości pomiędzy polem ochronnym a najbliżej położonym miejscem zagrożenia kolejnym krokiem jest określenie koniecznej wysokości pola ochronnego elektroczułego wyposażenia ochronnego (ESPE). Wysokość ta powinna uniemożliwić sięgnięcie do miejsca zagrożenia od góry (rys. 14.10).

Rys. 14.9. Przykłady niewłaściwie zamontowanych ESPE [28]



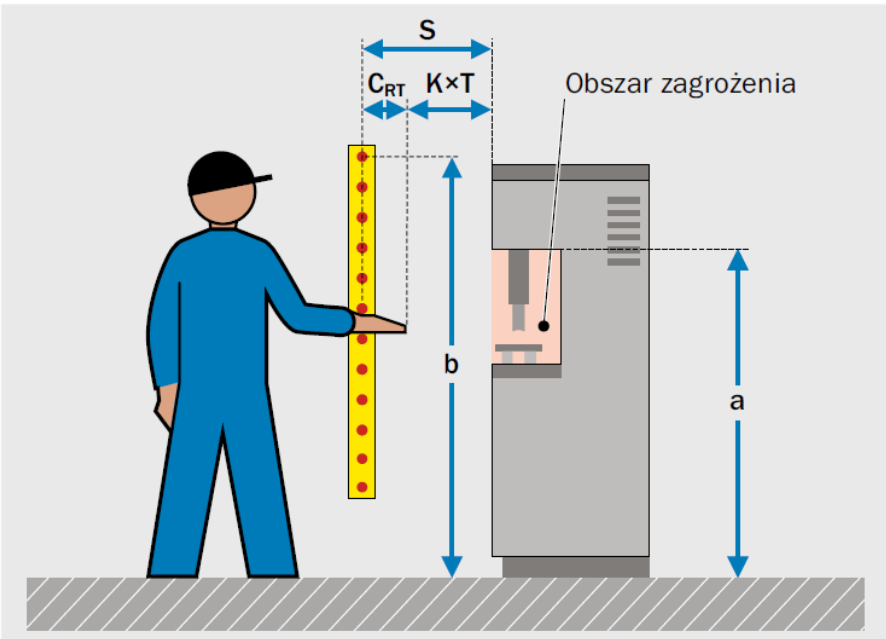
Rys. 14.10. Przykładowe sposoby montażu ESPE [28]

Jeśli możliwe jest sięganie ponad pionowym polem ochronnym elektroczułego wyposażenia ochronnego, należy zwiększyć wysokość górnej krawędzi pola ochronnego *b* albo zwiększyć wartość odległości. *C*, która zwiększa wartość odsunięcia kurtyny *S* (rys. 14.11). W przypadku obu metod należy stosować się do wartości podanych w tabeli 12.3, zgodnie z normą ISO 13855. Przy wykorzystaniu tej tabeli oblicza się zwiększoną wysokość górnej krawędzi pola ochronnego lub

określa się wartość większego odstępu minimalnego. Przy zwiększaniu wysokości górnej krawędzi pola ochronnego *b*, (oprócz wysokości obszaru zagrożenia *a* należy uwzględnić zależny od rozdzielczości kurtyny dodatek C_{RT} (rys. 14.11)).

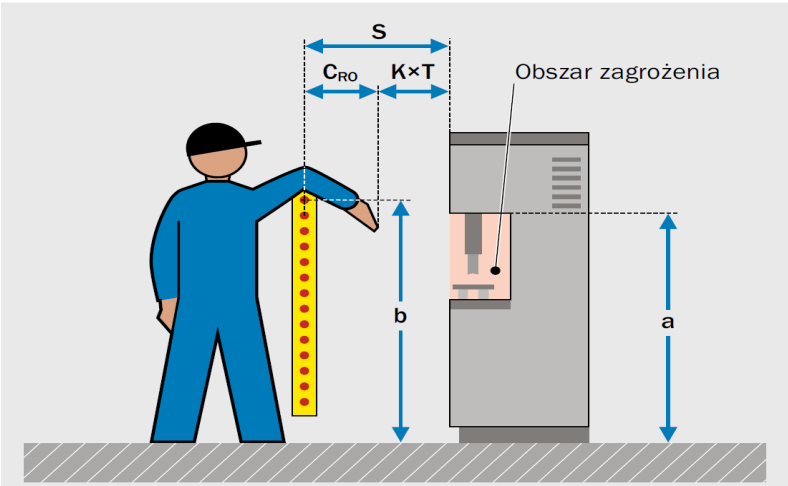
Tabela 14.3. Tabela wymiarowa, która pozwala uwzględnić możliwość sięgania ponad wyposażeniem ochronnym [28]

Wysokość a obszaru zagrożenia (mm)	Dodatkowa odległość pozioma C od obszaru zagrożenia (mm)											
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wysokość b górnej krawędzi pola ochronnego (mm)											
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600



Rys. 14.11. Parametry do wyznaczania wymaganej minimalnej odległości przy możliwym sięganiu przez wyposażenie ochronne [28]

Jeśli wysokość górnej krawędzi pola ochronnego *b* jest z góry określona przez zastosowaną już kurtynę, należy skontrolować minimalną odległość *S* (rys. 14.12). Oprócz określenia wysokości obszaru zagrożenia *a* trzeba w tym przypadku uwzględnić wysokość górnej krawędzi pola ochronnego *b*. Wynik należy odczytać w tabeli 14.3. Miejsce przecięcia tych wartości określa odległość naruszenia C_{RO}. Jeśli C_{RO} jest $\geq C_{RT}$, to wyznaczona wartość C_{RO} zastępuje wartość C_{RT} przy obliczaniu minimalnej odległości *S*. Jeśli C_{RO} jest $< C_{RT}$, przy obliczaniu minimalnej odległości należy zastosować wartość C_{RT}.



Rys. 14.12. Parametry do wyznaczania wymaganej minimalnej odległości przy możliwym sięganiu ponad wyposażenie ochronne [28]

Wykonanie ćwiczenia

Cel ćwiczenia:

Nabycie umiejętności określenia wymagań dla zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania maszyn i urządzeń chronionych kurtynami świetlnymi

Urządzenia i oprogramowanie niezbędne do realizacji ćwiczenia:

- stanowisko komputerowe z dostępem do internetu.

W celu realizacji ćwiczenia należy skorzystać z katalogów internetowych zawierających informacje o wymienionych w zadaniu elementach ESPE.

Treść zadania

Należy przeprowadzić obliczenia minimalnej odległości, na jakiej powinna znajdować się kurtyna ochronna od elementu ruchomego (zarysu sfery wyznaczonej przez skrajny punkt stołu obrotowego) dla przypadku pokazanego na rysunku 14.13. W obwodzie ESPE zastosowany jest przekaźnik bezpieczeństwa IM-T-9A (rys. 14.14).

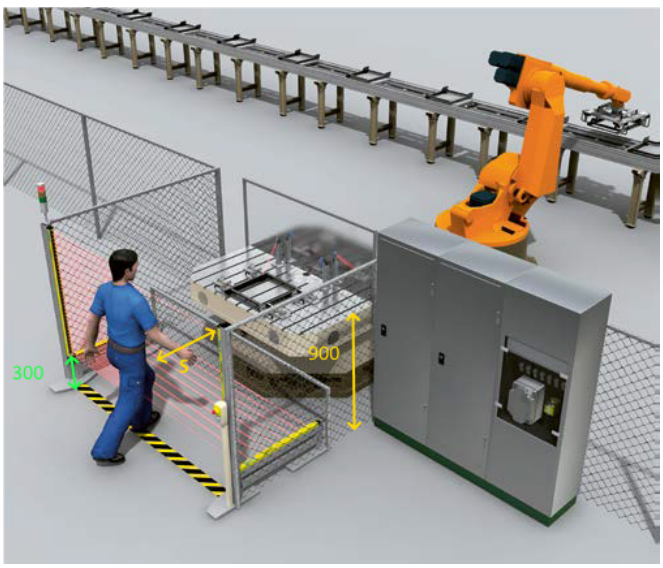
Należy pamiętać, że: czas reakcji kurtyny świetlnej t_1 jest sumą czasów odpowiedzi kurtyny i zadziałania przekaźnika bezpieczeństwa.

Wykaz parametrów do zadania umieszczono w tabeli 14.4.

Tabela 14.4. Wykaz parametrów dla przypadku

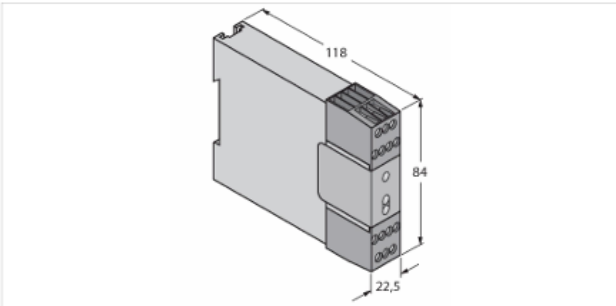
Oznaczenie zadania	1	2	3	4	5	6
Czas zatrzymania stołu t_2 [s]	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6

Oznaczenie zadania	A	B	C	D	E	F
Symbol zastosowanej kurtyny	GL-R88H	C4C-SA 16510A10000/ C4C-EA 16510A10000	C4C-SA 16530A10000/ C4C-EA 16530A10000	SLSP14-1800Q85	C4P-SA 15030A001300 / C4P-EA 15030A001300	SLSCP30-1500P88



Rys. 14.13. Schemat układu roboczego [28]

Bezpieczeństwo maszyn – przekaźnik bezpieczeństwa dla kurtyn świetlnych



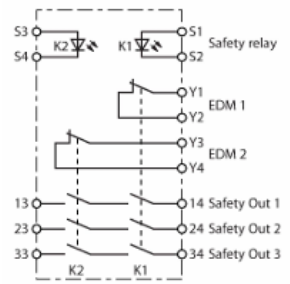
Dane techniczne

Typ	IM-T-9A
Nr kat.	3061425
Funkcja	Przekaźnik bezpieczeństwa
Napięcie zasilania	21…28 V DC
Tętnienie resztkowe	< 10 % U_{ss}
Funkcja wyjścia	Styk NO, Wyjście przekaźnikowe
Częstotliwość przełączania	≤ 50 Hz
Typowy czas odpowiedzi	< 20 ms
Wykonanie	Terminal zaciskowy
Wymiary	118 x 22.5 x 84 mm
Materiał obudowy	Tworzywo sztuczne, PC
Połączenie elektryczne	Zdejmowalny terminal zaciskowy, zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją, połączenie śrubowe
Temperatura pracy	0…+50 °C
Wilgotność względna	0…90 %
Klasa ochrony	IP20
Wskaźnik napięcia zasilania	LED, zielony
Wskaźnik stanu przełączenia	LED
Testy/aprobaty	

Cechy charakterystyczne

- Kategoria bezpieczeństwa 4 zgodna z ISO 13849-1 (EN 954-1)
- 3 wyjścia bezpieczne (NO)
- Maks. 6 A
- Napięcie zasilania 24 VDC +/-15%
- Stopień ochrony IP20

Schemat podłączenia



Zasada działania

Interfejs modułowy dla kontrolerów bezpieczeństwa posiada wejścia 24 VDC i separowane, redundantne wyjścia, co umożliwia podłączenie np. kurtyny bezpieczeństwa DC do obwodów AC. Wyjścia NO przeznaczone są dla napięcia do 250 VUC i prądu do 6 A. Ich opóźnienie wynosi 20 ms. Obwód monitorujący podłączony do dwóch wyjść NZ, Y1-Y2 i Y3-Y4, wykrywa błędy interfejsu i informuje o nich nadrzędny kontroler bezpieczeństwa. Błędy te są przetwarzane i mają wpływ na wewnętrzne przekaźniki K1 i K2 interfejsu, który podłączony jest do wejść EDM urządzenia nadrzędnego. Kontroler bezpieczeństwa wyższego poziomu może wykryć błąd modułu interfejsu za pomocą obwodu monitorującego, dzięki czemu może pracować w aplikacjach wymagających pewności zadziałania zgodnej z OSHA/ANSI lub kategorią 3 lub 4 wg ISO13849-1. Interfejsy modułowe mogą być stosowane również do zwiększenia pojemności przełączania kontrolerów bezpieczeństwa niskiego napięcia. Dwie zielone diody LED na przedniej części obudowy wskazują stan wyjścia przekaźników K1 i K2.

Rys. 14.14. Parametry przekaźnika bezpieczeństwa

Sprawozdanie powinno zawierać:

- schemat układu z wymiarami dla zadanego przypadku,
- obliczenie odległości minimalnej kurtyny od obszaru niebezpiecznego z uwzględnieniem wysokości kurtyny,
- wnioski.

Bibliografia

1. Szelerski M.W., *Układy pneumatyczne w maszynach i urządzeniach,* KaBe, Krosno 2018.
2. Domińczuk J., Kost G., Łebkowski P., *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2022.
3. Węsierski Ł., *Pneumatyka. Elementy i układy,* Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów–Warszawa 2015.
4. Pawełko P., *Materiały dydaktyczne do wykładów i ćwiczeń laboratoryjnych z przedmiotu*, s.11, https://piopawelko.zut.edu.pl/fileadmin/SNHIP/lab1_NHIP.pdf (dostęp: 22-07-2024)
5. Niezgoda J. i Pomierski W., *Sterowanie pneumatyczne ćwiczenia laboratoryjne*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1998.
6. Domińczuk J., *Modelowanie urządzeń elektromechanicznych. Ćwiczenia laboratoryjne*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2022.
7. *Dokumentacja napędu*, FESTO, https://www.albeco.com.pl/en/catalog/preview/Festo_DSBC_Si%C5%82owniki_znormalizowane_PL.pdf (dostęp: 22-07-2024).
8. Ebel F., Idler S., Prede G., Scholz D., *Pneumatics. Electropneumatics. Fundamentals*, Festo GmbH & Co, Denkendorf 2010.
9. *Festo*, https://www.festo.com/ (dostęp: 12.07.2024).
10. Zastępowski B., Matuszewski M., Musiał J., Styp-Rekowski M., *Zagadnienia hydrauliki i pneumatyki w ujęciu praktycznym*, Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Techniczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2013.
11. SMC, *Sprężone powietrze i jego zastosowanie*, SMC, Błonie 2020.
12. Pawełko P., *Napęd i sterowanie pneumatyczne. Podstawy. Ćwiczenia laboratoryjne. Elementy elektropneumatycznych układów sterowania*, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin 2019.
13. SMC, *SMC International Training*, SMC, https://www.smctraining.com/en/newpage/indexnews/61 (dostęp: 2.01.2024).
14. Węsierski Ł., *Zagadnienia analizy i syntezy płynowych układów dyskretnych*, „Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej” 1982, z 145.

15. Węsierski Ł., *Projektowanie pneumatycznych układów napędowych i sterujących. Podstawy i metody*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1994.
16. Krieser W., *Sterowanie pneumatyczne i elektropneumatyczne*, Helion, Gliwice 2021.
17. Świder J., (red.), *Sterowanie i automatyzacja procesów technologicznych i układów mechatronicznych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2015.
18. *Siemens, Katalogi, podręczniki, broszury...*, https://publikacje.siemens-info.com/ (dostęp: 12.07.2024).
19. Kacprzak S., *Programowanie Sterowników PLC zgodnie z normą IEC61131-3 w praktyce*, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2011.
20. Sałat R., Koprysz K. i Obstawski P., *Wstęp do programowania sterowników PLC*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2021.
21. Gilewski T., *Szkoła programisty PLC. Język LAD w programowaniu sterowników przemysłowych*, Helion, Gliwice 2018.
22. Gilewski T., *Szkoła programisty PLC. Sterowniki przemysłowe*, Helion, Gliwice 2017.
23. Astor, https://www.astor.com.pl/ (dopstęp: 12.07.2024).
24. Kaczmarek W., *Elementy robotyki przemysłowej*, Oficyna Wydawnicza WAT, Warszawa 2008.
25. Kaczmarek W., Panasiuk J., *Programowanie robotów przemysłowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
26. *Instrukcja użytkownika. Kontroler robotów Kawasaki*, Kawasaki Heavy Industries.
27. *Systemy sterowania związane z bezpieczeństwem maszyn. Zasady, normy i wdrożenie*, Polska Rockwell Automation, Warszawa 2016.
28. *Przewodnik Bezpieczne Maszyny*, SICK, https://cdn.sick.com/media/docs/8/98/398/special_information_guide_for_safe_machinery_pl_im0062398.pdf (dostęp: 12.07.2024).
29. *Kurtyny i bariery świetlne*, OEM automatic, https://www.oemautomatic.pl/produkty/komponenty-bezpieczenstwa/kurtyny-i-bariery-swietlne (dostęp: 2016).

Wzór sprawozdania

KIiRP	POLITECHNIKA LUBELSKA WYDZIAŁ MECHANICZNY **KATEDRA INFORMATYZACJI I ROBOTYZACJI PRODUKCJI**	POLITECHNIKA LUBELSKA LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SPRAWOZDANIE

Nr ćwiczenia:	
Tytuł ćwiczenia:	
Nazwa przedmiotu:	
Kierunek studiów:	
Imię i Nazwisko	

1. **Cel ćwiczenia:** *Należy podać zgodnie z instrukcją.*

2. **Treść zadania:**

   Należy podać treść zadania zdefiniowanego dla Studenta.

3. **Opis realizacji zadania:**

   Należy przedstawić przyjęte założenia, użyte narzędzia (w tym etapy modelowania), osiągnięte efekty prac (w tym schematy, wykresy, rysunki).

4. **Wnioski**

   Należy odnieść się do osiągniętych efektów prac. Wskazać istotne elementy wyboru i je uzasadnić.