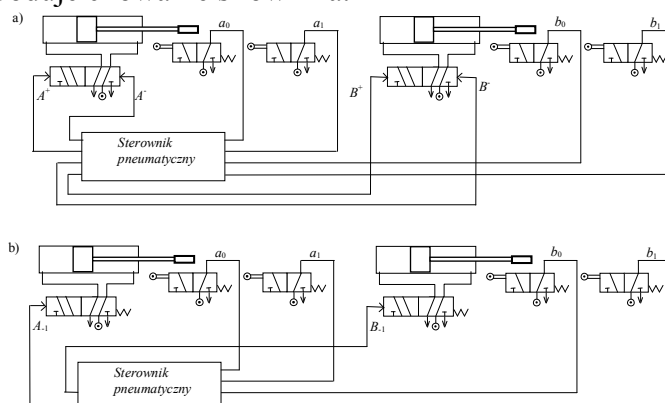


W materiale omówione zostały dwie metody projektowania funkcji logicznych automatu sekwencyjnego sterownika układu dwóch siłowników. Praca siłowników opisana jest za pomocą cyklogramu. Cyklogram rysunek 3 opisuje położenie ruchomej części siłownika w funkcji czasu.

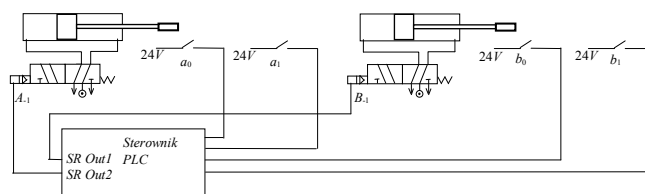
W pierwszym etapie konieczne jest określenie schematu połączeń sygnałów całego układu, przyjęcie jakimi zaworami rozdzielającymi będą sterowane siłowniki. Poniżej na rysunku 1 pokazano schematy układów pneumatycznych w których zarówno sterownik i sygnały SA pneumatyczne. W układzie z rysunku a) zastosowano zawory bistabilne sterujące siłownikami a na rysunku 1 b) zawory monostabilne. W pierwszym przypadku zawory sterujące siłownikami są przełączane czterema sygnałami oznaczonymi  $A^+$ ,  $A^-$ ,  $B^+$ ,  $B^-$ . Przyjęto, że sygnał z indeksem + powoduje wysunięcie siłownika a sygnał z indeksem – powoduje chowanie siłownika. Sygnały wejściowe do sterownika z czujników krańcowych oznaczono małymi literami z indeksami  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $b_0$ ,  $b_1$ , indeksy 0 oznacza, że siłownik jest schowany indeks 1, że jest wysunięty. W przypadku zaworów monostabilnych są tylko dwa sygnały wyjściowe oznaczone przez  $A_{-1}$ ,  $B_{-1}$ , dla tego układu podanie sygnału sterującego o wartości 1 powoduje wysuwanie siłownika natomiast sygnał sterujący o wartości 0 powoduje chowanie siłownika.



Rysunek 1. Schemat układu sterowania dwoma siłownikami A, B a) układ z zaworami monostabilnymi b) układ z zaworami bistabilnymi.

W układach pneumatycznych najwygodniej zastosować zawory bistabilne sterujące siłownikami jak pokazano na rysunku 1 a), w przypadku zaworów monostabilnych z rysunku 1 b) konieczne będzie zastosowanie przerzutników SR w sterowniku.

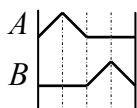
Jeśli zastosujemy sterownik PLC wygodniejsze będzie zastosowanie zaworów monostabilnych rysunek 2, zmniejszy to liczbę sygnałów wyjściowych dodatkowo program w schemacie drabinkowym umożliwia w łatwy sposób zaimplementowanie przerzutników na wyjściu.



Rysunek 2. Schemat układu sterowania siłownikami, układ ze sterownikiem PLC.

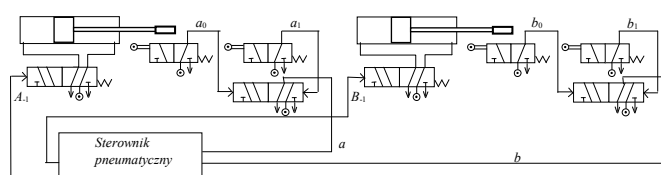
W materiale pokazano dwie metody postępowania w pierwszej pokazano jak wyznaczyć tabele automatu Moore'a, oraz przekształcić je do automatu Mealy'ego, druga metoda pozwala od razu wyznaczyć tabele automatu Mealy'ego.

Cyklogram pracy układu przedstawia rysunek 3. Przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych można narysować na podstawie cyklogramu oraz dodatkowych dotyczących założeń połączenia sygnałów, które zostały zawarte na przyjętym schemacie układu rysunek 1, 2.

Rysunek 3. Cyklogram dla dwóch siłowników  $A$ ,  $B$ .

## 1. Metoda pierwsza

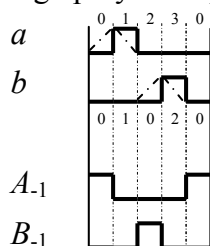
W układzie jest cztery sygnały wejściowe z czujników krańcowych. Sygnały te nie przyjmują jednocześnie wartości 1, ponieważ siłownik nie może być jednocześnie wysunięty i schowany. Dlatego dla takiego układu na etapie projektowania można i przyjmuje się, że jest tylko jeden sygnał wejściowy dla jednego siłownika. Takie założenie upraszcza etap projektowania. W układzie rzeczywistym uproszczenie to jest równoważne dodaniu przerzutnika SR na wejściu do sterownika jak na rysunku 4.



Rysunek 4. Schemat układu z rysunku 1 b) po dodaniu przerzutników SR na wejściu.

Po dodaniu przerzutników SR są dwa sygnały wejściowe z czujników krańcowych siłowników oznaczone symbolami  $a$ ,  $b$  odpowiednio dla pierwszego i drugiego siłownika. Sygnał  $a$  przyjmuje wartość jeden, gdy siłownik jest wysunięty natomiast wartość 0 gdy siłownik jest schowany podobnie sygnał  $b$  dla siłownika drugiego. W przedziale czasu, w którym, siłownik wykonuje pracę wartość sygnału jest taka sama jak na początku przedziału.

Przyjęto, że jest dwa sygnał  $A_{-1}$ ,  $B_{-1}$  sterujące siłownikami. Elementem wykonawczy sterującym siłownikiem jest zawór rozdzielający 5/2. Zawór jest przełączany w pierwszy stan wysuwanie siłownika sygnałem jedynki, natomiast w drugi stan chowanie siłownika sprężyną przy zerowej wartości sygnału sterującego. Wykresy sygnałów wejściowych oraz wyjściowych dla rozważanego przykładu podano na rysunku 5.



Rysunek 5. Wykres sygnałów wejściowych i wyjściowych sterownika układu.

Na wykresie można wyróżnić cztery przedziały czasu w których sygnały mają stałą wartość, przedziałom tym można przypisać stany  $Q$  automatu. Ostatni przedział czasu jest równoważny pierwszemu. Przedziały czasu zostały ponumerowane liczbami 0, 1, 2, 3.

Na wykresie nad sygnałami wejściowymi  $a$ ,  $b$  wpisano numery przedziałów czasu będą one odpowiadały stanom automatu. Na podstawie wykresu 2 można utworzyć pierwotną tablicę przejść i wyjść automatu Moore'a tabela 1. Stany stabilne oznaczono w tablicy pogrubioną czcionką.

stan $Q$	Wejście $a, b$				Wyjście	
	00	01	11	10	$A_{-1}$	$B_{-1}$
0	<b>0</b>	-	-	1	1	0
1	2	-	-	<b>1</b>	0	0
2	<b>2</b>	3	-	-	0	1
3	0	<b>3</b>	-	-	0	0

Tabela 1. Pierwotna i zarazem minimalna tablica przejść i wyjść automatu Moore'a.

Tabela 1 jest minimalną tablicą przejść automatu Moore'a. Po wyznaczeniu minimalnej tablicy kolejnym etapem projektowania automatu jest przejście do automatu Mealy'ego przez łączenie stanów a następnie kodowanie stanów i minimalizacja funkcji logicznych czyli synteza układu.

Po połączeniu stanów 0-(0,3) 1-(1,2), oznaczeniu ich przez 0, 1 uzyskuje się minimalne tablice przejść 2 i wyjść 3 automatu Mealy'ego. Dodatkowo w tym przypadku jest jeden stan i nie ma potrzeby kodowania.

stan $Q$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	<b>0</b>	<b>0</b>	-	1
1	<b>1</b>	0	-	<b>1</b>

stan $Q$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	10	00	-	10
1	01	01	-	00

Tabela 2, 3. Minimalna tablica przejść  $Q^1$  i wyjść  $A_{-1}, B_{-1}$ . automatu Mealy'ego.

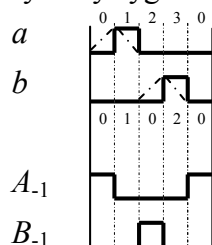
W przypadku przejścia z automatu Moore'a, do automatu Mealy'ego kłopotliwe może być określenie wartości sygnałów wyjściowych, które zależą zarówno od stanów jak i wyjść.

W przykładzie wartości określono w następujący sposób. W pola tablicy sygnałów wyjściowych automatu Mealy'ego odpowiadające stanom stabilnym w tablicy przejść tego automatu wpisano wartości z tabeli automatu Moore'a odpowiadających stanom stabilnym przed połączeniem stanów. W pola odpowiadające stanom nie stabilnym wpisano wartości wyjść odpowiadające tym stanom stabilnym, z których następuje przejście do stanu niestabilnego w automacie Moore'a.

## 2. Metoda druga

Druga metoda opiera się na dodawaniu sygnałów pamięci do wykresu sygnałów wejściowych.

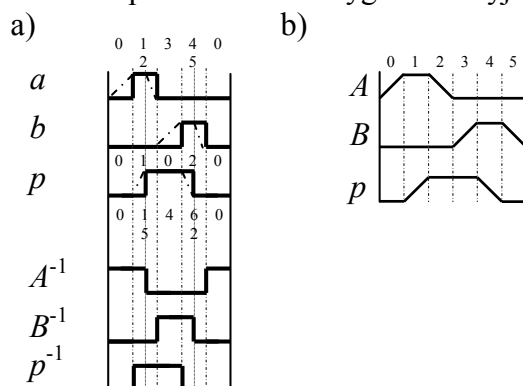
Wykresy sygnałów wejściowych i wyjściowych podano na rysunku 6.



Rysunek 6. Wykres sygnałów wejściowych i wyjściowych.

Na wykresie pod sygnałami wejściowymi  $a, b$  zaznaczono liczby są to wartości dziesiętne liczby binarnej  $ba$ , odpowiadającej sygnałom wejściowym tj. wartość  $b \cdot 2^1 + a \cdot 2^0$ . Układ ma jeden cykl, który odpowiada przejściu pomiędzy pierwszym a ostatnim przedziałem z rysunku 6. W przedziale trzecim również występuje wartość 0 dlatego konieczne jest dodanie pamięci, dzięki której sterownik będzie mógł rozróżnić przedziały pierwszy i trzeci.

Na rysunku 7 a) przedstawione są wykresy sygnałów po dodaniu pamięci  $p$  oraz sygnału załączania pamięci  $p^{-1}$ , którego zmiana następuje w wcześniejszym przedziale czasu niż sygnału  $p$ . Po dodaniu pamięci powstały dwa dodatkowe przedziały czasu. Ostatni przedział jest równoważny pierwszemu, przedział ten nie jest uwzględniony na cyklogramie b). Indeksy ( $^{-1}$ ) dla sygnałów wyjściowych wprowadzono dlatego, żeby różnić sygnały przełączające pamięć  $p^{-1}$  od sygnałów pamięci  $p$ , podobne oznaczenie zostało wprowadzone do sygnałów wyjściowych  $A^{-1}$ ,  $B^{-1}$ .



Rysunek 7. a) wykres sygnałów wejściowych i wyjściowych b) cyklogram pracy.

Pod sygnałami  $a$ ,  $b$ ,  $p$  zaznaczono liczby są to wartości dziesiętne liczby binarnej  $pba$ , odpowiadającej sygnałom wejściowym w kolejnych stanach tj. wartości  $p \cdot 2^2 + b \cdot 2^1 + a \cdot 2^0$ . Jak widać wartości te wynoszą 0, 1, 5, 4, 6, 2, 0 są różne w każdym przedziale pracy automatu poza pierwszym oraz ostatnim które są równoważne.

Po dodaniu pamięci konieczne jest zmodyfikowanie wykresu sygnałów wyjściowych. Jeśli sygnały wejściowe  $A_{-1}$ ,  $B_{-1}$  zmieniają swoją wartość logiczną na początkowych brzegach dzielonych przedziałów należy przedłużyć je na pierwszą część dzielonych przedziałów rysunek 7 a), wówczas powstały wykres sygnałów będzie zgodny z nowym cyklogramem 7 c), w którym dodana pamięć jest dorysowana jako dodatkowy siłownik.

Do wykresu sygnałów został dodany sygnał  $p_{-1}$  jest to sygnał załączający pamięć  $p$  sygnał ten traktowany jest jako sygnał wyjściowy ze sterownika i zmienia wartość na brzegu przedziału wcześniejszego niż dodany sygnał pamięci  $p$ .

Po dodaniu sygnałów pamięci na podstawie wykresu można utworzyć minimalną tablicę przejść i wyjść automatu Mealy'ego. Tabele 4, 5. W tablicach w nawiasach zaznaczono liczby odpowiadające przedziałom czasu pracy automatu. Uzyskano identyczne tablice jak w poprzednim podrozdziale czyli tabele 2, 3.

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	(0) 0	(2) 0	-	(1) 1
1	(4) 1	(6) 0	-	(5) 1

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	(0) 10	(2) 00	-	(1) 10
1	(4) 01	(6) 01	-	(5) 00

Tabela 4, 5. Minimalna tablica przejść sygnał  $p_{-1}$  i wyjść  $A_{-1}$ ,  $B_{-1}$  automatu Mealy'ego.

Po zaznaczeniu obszarów można wyznaczyć funkcję logiczną zmiany stanu równanie 1.

$$p^{-1} = a \vee p\bar{b} \quad (1)$$

Poniżej zapisano tabele minimalizacji sygnałów wyjść  $A_{-1}$ ,  $B_{-1}$  Tabela 6, 7

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	(1)	0	-	(1)
1	0	0	-	0

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	0	0	-	0
1	(1)	(1)	-	0

Tabela 6, 7. Tabela minimalizacji sygnałów wyjściowych  $A_{-1}$ ,  $B_{-1}$ .

Funkcje logiczne sygnałów wyjść podano w równaniach 2.

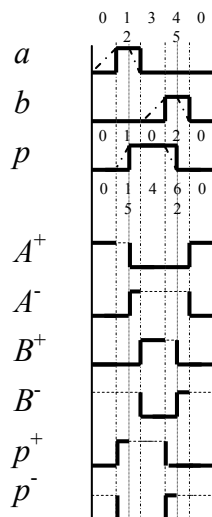
$$\begin{aligned} A^{-1} &= \overline{pb} \\ B^{-1} &= p\overline{a} \end{aligned} \quad (2)$$

Ostatecznie funkcje logiczne sterownika mają postać podaną w równaniach 3:

$$\begin{aligned} p^{-1} &= a \vee p\overline{b} \\ A^{-1} &= \overline{pb} \\ B^{-1} &= p\overline{a} \end{aligned} \quad (3)$$

### 3. Zastosowanie przerzutników SR sterujących siłownikami

Wykresy sygnałów wejściowych i wyjściowych dla cyklogramu z rysunku 3 oraz schematu układu z rysunku 1 a), w którym siłowniki są sterowane zaworami monostabilnych podano na rysunku 8. W tym przypadku jest trzy sygnały wejściowe oraz sześć sygnałów wyjściowych.



Rysunek 8. a, b) wykres sygnałów wejściowych i wyjściowych sterownika.

Pamięć wewnętrzna  $p$  w układzie pneumatycznym może zostać wyciągnięta na zewnątrz sterownika i zrealizowana za pomocą zaworu pneumatycznego 5/2 wówczas sygnał  $p^+$ ,  $p^-$  będzie sygnałem wyjściowym a sygnał  $p$  sygnałem wejściowym do sterownika.

Na podstawie rysunku 8 wypisano tablice minimalizacji sygnałów wyjściowych.

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	1	0	-	$\phi$
1	0	0	-	0

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	0	$\phi$	-	0
1	$\phi$	$\phi$	-	1

Tablica 8, 9. Tabela minimalizacji sygnałów  $A^+$ ,  $A^-$ .

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	0	0	-	0
1	1	$\phi$	-	0

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	$\phi$	1	-	$\phi$
1	0	0	-	$\phi$

Tablica 10, 11. Tabela minimalizacji sygnałów  $B^+$ ,  $B^-$ .

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	0	0	-	1
1	$\phi$	0	-	$\phi$

stan $p$	Wejście $a, b$			
	00	01	11	10
0	$\phi$	$\phi$	-	0
1	0	1	-	0

Tablica 12, 13. Tabela minimalizacji sygnałów  $p^+$ ,  $p^-$ .

Z tabeli minimalizacji wyznaczono funkcje logiczne sygnałów wyjściowych równania 4.

$$\begin{aligned}
 A^+ &= \overline{p}\overline{b} & A^- &= p & a_0 &= \overline{a} \\
 B^+ &= p\overline{a} & B^- &= \overline{p} & a_1 &= a \\
 p^+ &= a & p^- &= b & b_0 &= \overline{b} \\
 & & & & b_1 &= b
 \end{aligned} \tag{4}$$

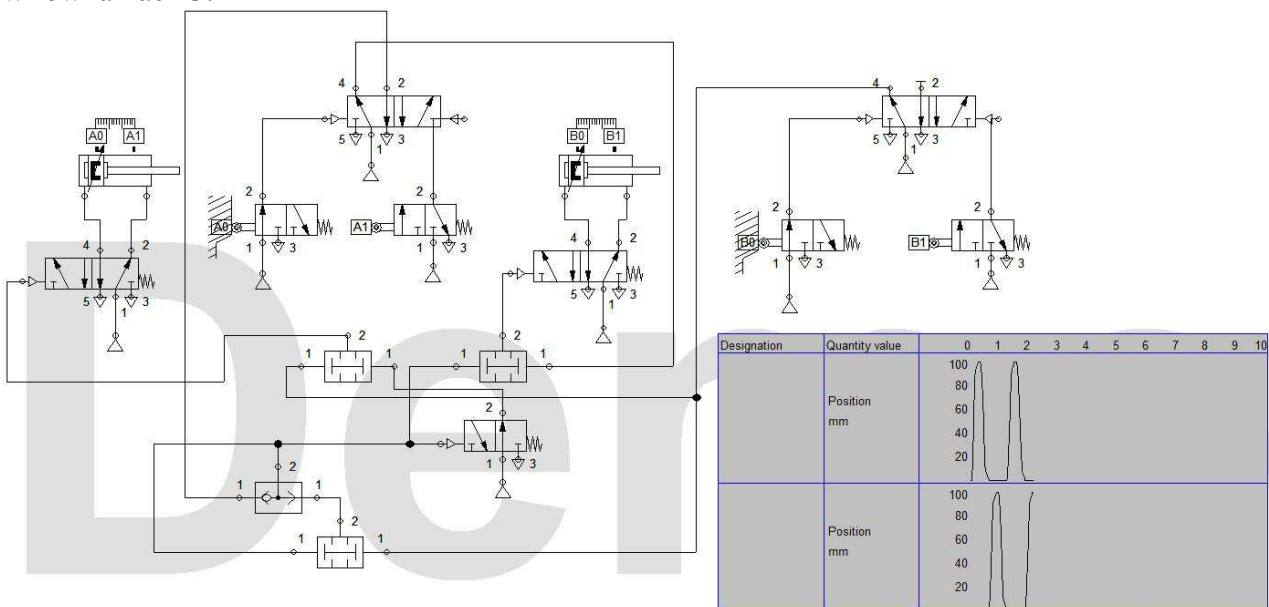
Po podstawieniu wynikającego z dodania przerzutników na wejściu mamy układ równań 5.

$$\begin{aligned}
 A^+ &= \overline{p}b_0 & A^- &= p \\
 B^+ &= pa_0 & B^- &= \overline{p} \\
 p^+ &= a_1 & p^- &= b_1
 \end{aligned} \tag{5}$$

## 4. Implementacja wyznaczonych funkcji logicznych.

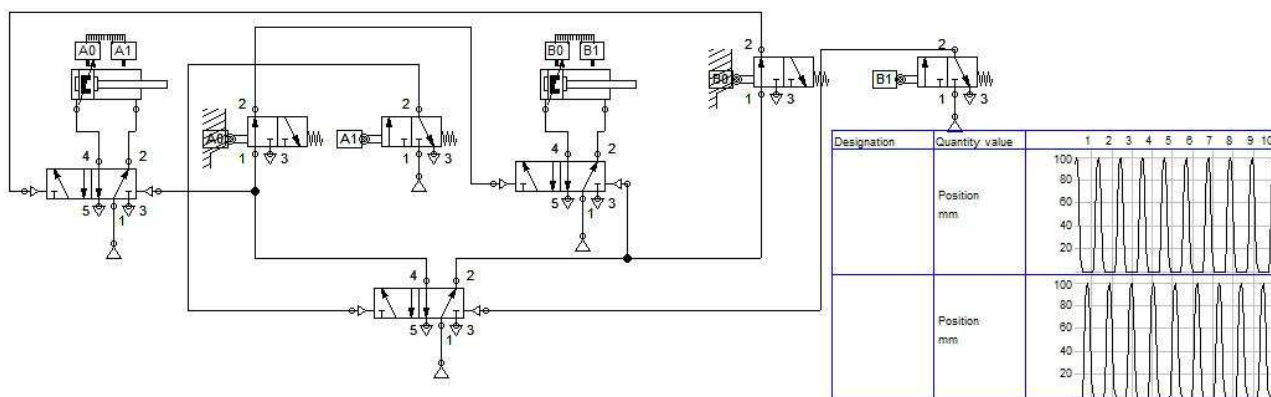
### 1.1. Model układu w programie FluidSIM sterownik pneumatyczny

Na rysunku 11 model układu siłowników ze sterownikiem opisanym funkcjami logicznymi w równaniach 3.



Rysunek 9. Schemat I układu ze sterownikiem pneumatycznym.

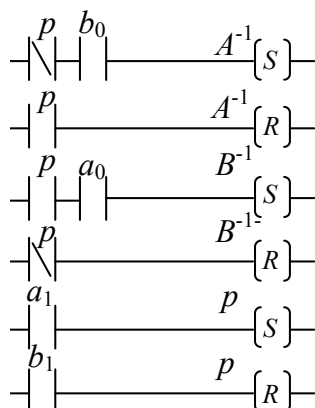
Na rysunku 10 układu siłowników ze sterownikiem opisanym funkcjami logicznymi w równaniach 5.



Rysunek 10. Schemat II układu ze sterownikiem pneumatycznym.

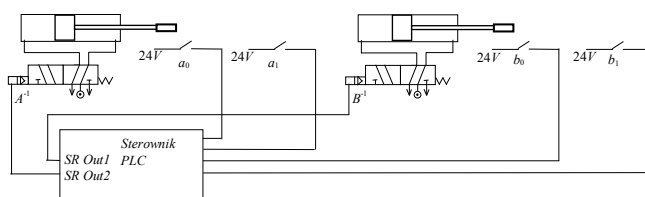
## 1.2. Sterownik PLC schemat drabinkowy

Programu w schemacie drabinkowym dla zestawu funkcji opisanych równaniami 5 przedstawia rysunek 11. Każdej z sześciu funkcji logicznych odpowiada jeden szczebelek drabinki.



Rysunek 11. Schemat drabinkowy funkcji logicznych z równań 5.

Schemat układu połączeń układu

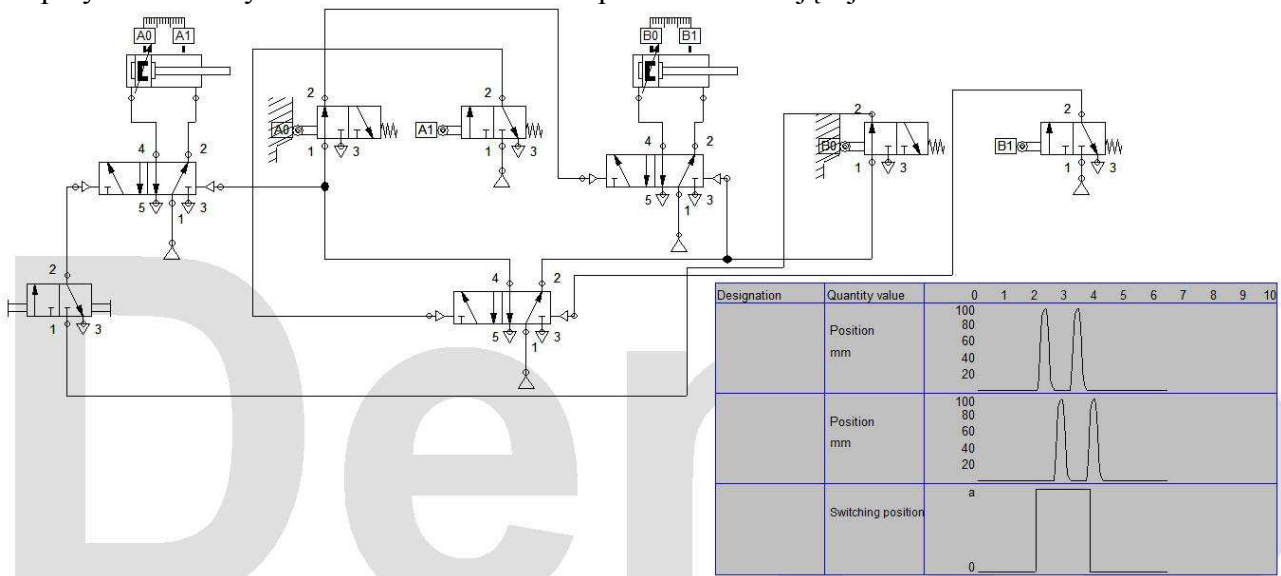


Rysunek 12. Schemat układu sterowania dwoma siłownikami.

Na etapie projektowania założono, że na wejściach sterownika są przerzutniki  $SR$  w wyniku czego zmniejszono liczbę sygnałów wejściowych do dwóch jest to równoważne założeniu, że na wyjściach są przerzutniki  $SR$ . Finalnie w układzie z rysunku 10 zostały usunięte przerzutniki  $SR$  z wejść, natomiast przerzutniki zostały dodane na wyjścia. Powoduje to, że sygnały wejściowe z czujników krańcowych będą zmieniały swoje wartości z 1 na wartość 0 w czasie pracy siłowników. Postępowanie takie jest prawidłowe ponieważ zmiana wartości logicznej z 1 na 0 któregośkolwiek z sygnałów wejściowych  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $b_0$ ,  $b_1$  nie spowoduje zmiany stanu przerzutnika na wyjściu układu, wynika to tego, że sygnały wejściowe  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $b_0$ ,  $b_1$  w funkcjach logicznych sterownika nie są negowane.

## 5. Zatrzymanie układu

Zatrzymanie i start układu w określonym stanie można zrealizować poprzez rozwarcie dowolnej z linii sterujących utworzonych z funkcji logicznych jak na schemacie drabinkowym. Układ taki można zatrzymać w tylu stanach ile jest równań funkcji logicznych. Poniżej na rysunku 13 przykład w którym dodano zawór startu/stopu na linii sterującej  $A^+$ .



Rysunek 13. Schemat układu z zaworem startu/ stopu na linii sygnałowej  $A^+$ .

Literatura:

[1] Marek Żelazny „Podstawy Automatyki” PWN Warszawa 1976