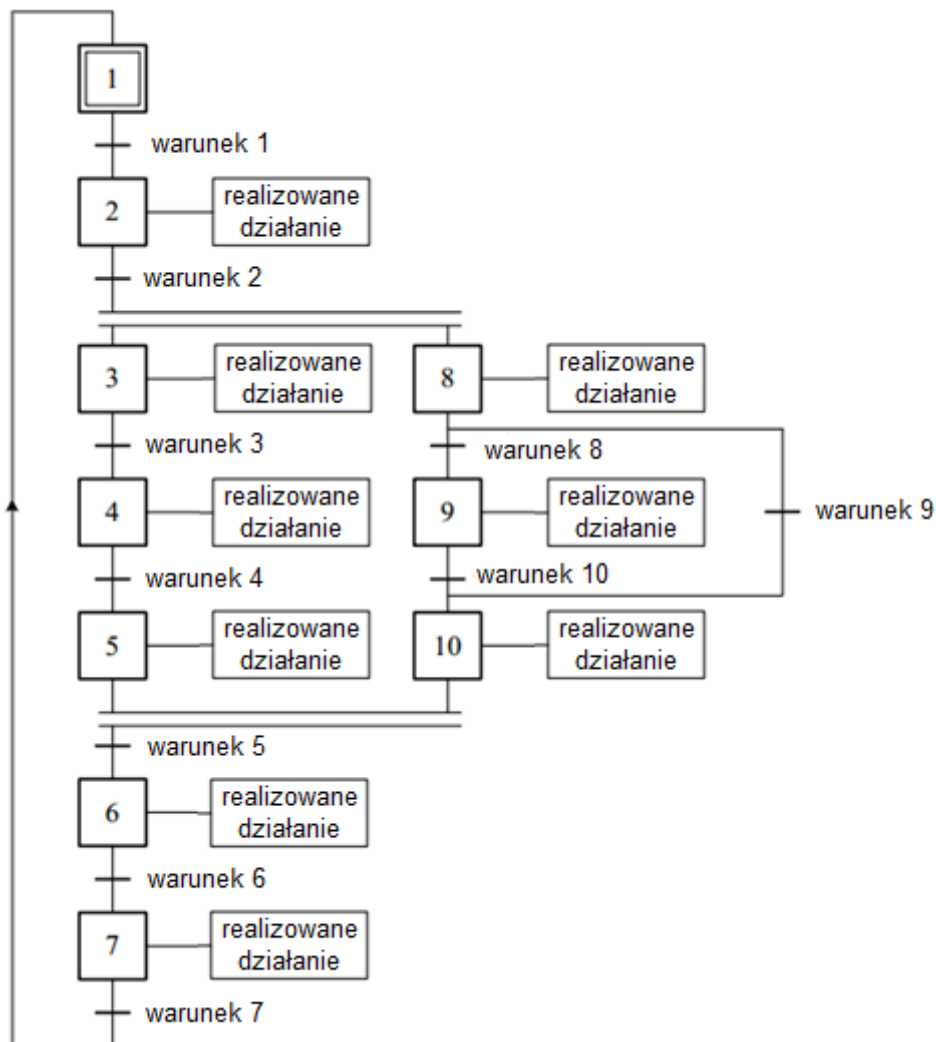


Metoda GRAFCET

Oprócz metody diagramu stanów (cyklogramu), pracę układu mechatronicznego można przedstawić w sposób graficzny wykorzystując również metodę GRAFCET (fr. Graphe Fonctionnel de Commande des Étapes et Transitions). GRAFCET to schemat funkcjonalny ukazujący działanie układu krok po kroku z wyszczególnieniem warunków, jakie muszą zostać spełnione, aby układ znalazł się na danym etapie (w danym kroku) swojej pracy. Na przestrzeni lat metoda ta przekształciła się w język graficzny programowania sterowników PLC, dlatego też często można spotkać się z pojęciem języka GRAFCET.

Metoda GRAFCET wykorzystuje ograniczoną liczbę prostych symboli i kieruje się zbiorem określonych reguł, opisanych w międzynarodowych normach. Poniżej przedstawiony jest przykładowy schemat działania bliżej nieokreślonego układu. Na razie nie jest ważne jakie konkretnie działania są realizowane przez ten układ ani jakie warunki muszą być spełnione, aby działania te mogły być wykonane. Z punktu dydaktycznego w poniższym schemacie ważne jest to, że wykorzystano w nim wszystkie możliwe symbole właściwe dla metody GRAFCET.



Zanim zaczniemy omawiać poszczególne elementy diagramu zwróć uwagę, że tylko na jednej linii jest strzałka (tej po lewej stronie). Diagram GRAFCET czyta się od góry do dołu, bo taki jest domyślny przebieg zdarzeń w każdym diagramie. Strzałkę daje się tylko w tych miejscach, gdzie kierunek czytania jest przeciwny do domyślnego. Na naszym diagramie strzałka pokazuje, że po spełnieniu warunku 7 układ wraca do stanu, w jakim znajdował się na początku, czyli do kroku 1.

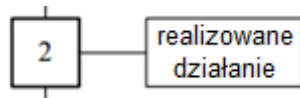
Diagram GRAFCET składa się z dwóch podstawowych elementów:

- a) **kroków**, przy których umieszcza się pole z opisem działania wykonywanego przez układ w danym kroku,
- b) **przejść (tzw. tranzycji)**, przy których umieszcza się warunki, jakie muszą być spełnione, aby układ mógł przejść do kolejnego etapu (kroku) swojej pracy.

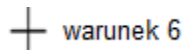
Kroki mają postać kwadratów oznaczonych kolejnymi numerami. Szczególnym krokiem jest krok początkowy, ponieważ to od niego zaczyna się praca układu. Krok początkowy ma najniższy numer w całym diagramie (najczęściej numer 1, ale niektórzy stosują też numer 0) i posiada podwójne obramowanie, czym wyraźnie odróżnia się od pozostałych kroków:



Krok początkowy odpowiada stanowi układu zaraz po podłączeniu go do zasilania. Jest to tzw. stan gotowości do pracy. W tym stanie układ najczęściej nie wykonuje żadnych działań, tylko czeka, aż operator np. naciśnie przycisk START. Z tego względu krok początkowy może nie posiadać opisu działania realizowanego przez układ w tym kroku, bo działanie to jest oczywiste (układ nie pracuje – jest w stanie gotowości do pracy). Jeżeli w stanie gotowości coś jednak się dzieje, np. świeci się lampka sygnalizacyjna informująca o tym stanie, to należy to działanie zapisać przy kroku początkowym. Kolejne kroki muszą już obowiązkowo posiadać opis działania realizowanego przez układ. Działania te realizowane są dopiero wtedy, gdy układ przejdzie do danego kroku.



Pomiędzy krokami umieszczone są przejścia (tranzycje) wraz z warunkami tych przejść:



Układ może przejść do kolejnego kroku (stanu) swojej pracy tylko wówczas, gdy zachodzą jednocześnie dwa zdarzenia:

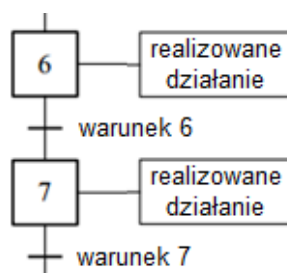
- a) układ realizuje aktualnie krok znajdujący się bezpośrednio przed danym przejściem,
- b) warunek przejścia jest spełniony (prawdziwy).

Realizacja przejścia powoduje dezaktywację kroku (kroków), który wcześniej był aktywny oraz aktywację kroku (kroków), do którego prowadzi przejście.

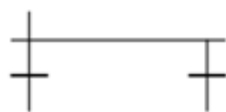
Przykład:

Jeżeli układ aktualnie realizuje działanie opisane w kroku 6, to po spełnieniu warunku 6 układ porzuci realizowanie działania z kroku 6 i wykona działanie opisane w kroku 7 – nastąpi zatem przejście z kroku 6 do kroku 7.

Jeżeli układ aktualnie realizuje działanie opisane w kroku 6 i spełniony jest warunek 7, to nic się nie zmieni w pracy układu – pozostanie on przy działaniu opisanym w kroku 6, bo z kroku 6 można przejść tylko do kroku 7, ale dopiero po spełnieniu warunku 6. W poniższym diagramie nie da się ominąć kroku 7.



W diagramie GRAFCET można uwzględnić alternatywną pracę układu. Służą do tego symbole **alternatywy**. Pojawienie się alternatywy oznacza, że w danym miejscu układ może zachować się na co najmniej dwa różne sposoby. Wybór sposobu zależy od tego, który warunek zostanie spełniony.



oznacza
rozpoczęcie działania
alternatywnego



oznacza
zakończenie działania
alternatywnego

Przykład:

Jeżeli układ aktualnie realizuje działanie opisane w kroku 8, to może następnie przejść do realizowania działania opisanego w kroku 9 lub 10. Jeżeli spełniony zostanie warunek 8, to układ z kroku 8 przejdzie do kroku 9. Jeżeli natomiast spełniony zostanie warunek 9, to układ z kroku 8 przejdzie od razu do kroku 10 (działanie z kroku 9 zostanie wtedy pominięte).



Z przedstawionego przykładu wynikają ważne wnioski:

- numeracja kroków nie ma związku z kolejnością ich wykonywania** (przy spełnieniu odpowiednich warunków można np. z kroku 8 przejść do kroku 10 z pominięciem kroku 9),
- warunki w alternatywie muszą się wzajemnie wykluczać**, aby nie doszło do sytuacji, w której np. dwa warunki spełnione są jednocześnie.

Oprócz symboli oznaczających działania alternatywne, w diagramie GRAFCET mogą wystąpić symbole oznaczające **koniunkcję działań**, czyli wykonywanie różnych działań (kroków) jednocześnie po spełnieniu tego samego warunku przejścia:



oznacza
rozpoczęcie
koniunkcji działań

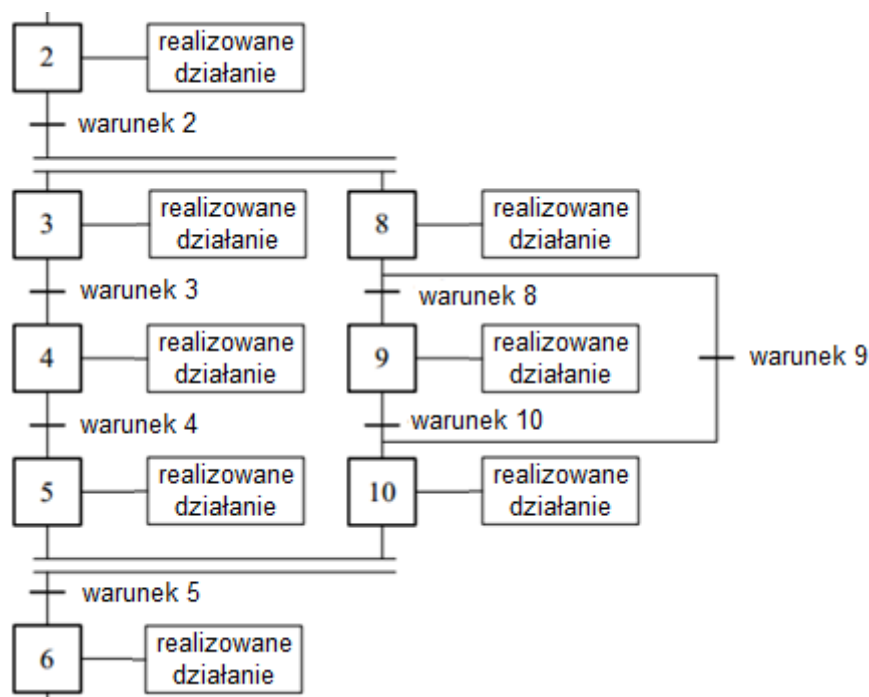


oznacza
zakończenie
koniunkcji działań

Przykład:

Jeżeli układ aktualnie realizuje działanie opisane w kroku 2, to po spełnieniu warunku 2 układ przejdzie do jednoczesnego wykonywania dwóch niezależnych sekwencji działań, rozpoczynających się od kroku 3 i kroku 8. Działania z kroków 3, 4 i 5 będą więc realizowane niezależnie od działań z kroków 8, 9 i 10. Ale uwaga: aby układ mógł w końcu przejść do kroku 6, to warunek 5 musi zostać spełniony w momencie, gdy układ realizuje jednocześnie działania z kroku 5 i z kroku 10. Gdy układ realizuje działania z kroku np. 4 i 10, to spełnienie w tym momencie warunku 5 nic nie da – układ nie przejdzie w takiej sytuacji do kroku 6.

Jak widać z powyższego przykładu w diagramie GRAFCET w danej chwili może być aktywny więcej niż jeden krok.



Teraz trochę o samych warunkach i działaniach:

Warunkami są najczęściej: stan przycisku, stan krańcówki, stan czujnika, stan timera, stan licznika.

Z zajęć w pracowni wiecie bowiem, że stan układu zmienia się np. po naciśnięciu przycisku, aktywacji krańcówki lub czujnika, odmierzeniu czasu przez przełącznik lub zawór czasowy itp.

Stan danego elementu w diagramie oznacza się w następujący sposób (w przykładzie posłużyłem się przyciskiem, ale z krańcówkami i czujnikami będzie podobnie):

STAN PRZYCISKU	SPOSÓB 1	SPOSÓB 2
naciśnięty	$S1=1$	$S1$
nienaciśnięty	$S1=0$	$\overline{S1}$

Ze stanem timera (czasówki) i licznika jest nieco inaczej. Warunek czasowy może mieć taką postać:

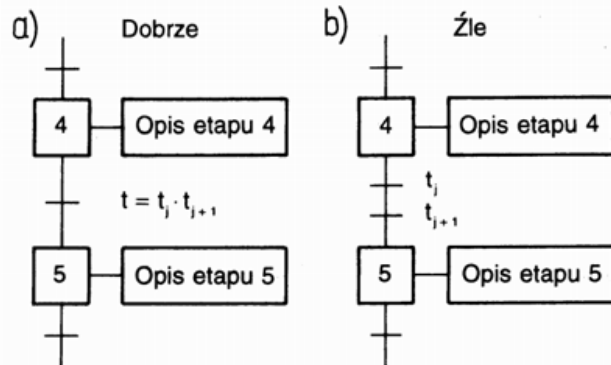
- $t < 5s$ – oznacza, że nie upłynęło jeszcze 5s od chwili rozpoczęcia odmierzenia czasu,
- $t \leq 5s$ – oznacza, że upłynęło nie więcej niż 5s od chwili rozpoczęcia odmierzenia czasu,
- $t = 5s$ – oznacza, że upłynęło dokładnie 5s od chwili rozpoczęcia odmierzenia czasu,
- $t \geq 5s$ – oznacza, że upłynęło co najmniej 5s od chwili rozpoczęcia odmierzenia czasu,
- $t > 5s$ – oznacza, że upłynęło ponad 5s od chwili rozpoczęcia odmierzenia czasu.

Warunek związany ze stanem licznika wygląda podobnie. Zamiast litery „t” używa się „L”, a wartość przy literze nie oznacza czasu tylko aktualny stan licznika, np. $L=5$.

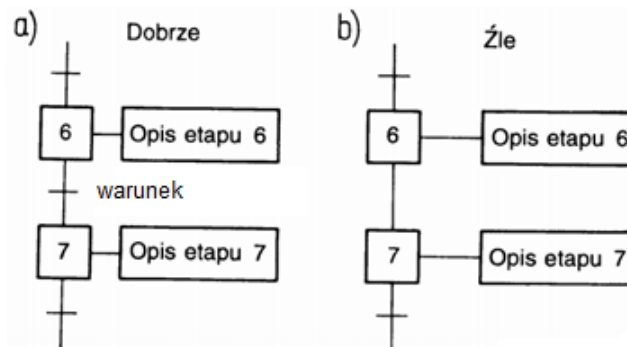
Nie zawsze jest tak, że przy tranzycji występuje prosty warunek w postaci np. $S1=1$. Często jest tak, że warunek jest bardziej skomplikowany, bo uwzględnia stan kilku elementów, np. przycisku $S1$ i czujnika $B1$. Warunek taki musi wtedy określać związek logiczny między stanem poszczególnych elementów, np. przycisk $S1$ jest naciśnięty i nieaktywny jest czujnik $B1$; przycisk jest naciśnięty **lub** upłynął czas 5s itp. Najczęściej występują właśnie związki logiczne „i” oraz „lub”. W diagramie GRAFCET te związki logiczne oznacza się w następujący sposób:

ZWIĄZEK LOGICZNY	SPOSÓB 1	SPOSÓB 2	SPOSÓB 3	SPOSÓB 4
$S1 \text{ i } \overline{B1}$	$S1 \text{ AND } \overline{B1}$	$S1 \cap \overline{B1}$	$S1 \wedge \overline{B1}$	$S1 * \overline{B1}$
$S1 \text{ lub } \overline{B1}$	$S1 \text{ OR } \overline{B1}$	$S1 \cup \overline{B1}$	$S1 \vee \overline{B1}$	$S1 + \overline{B1}$

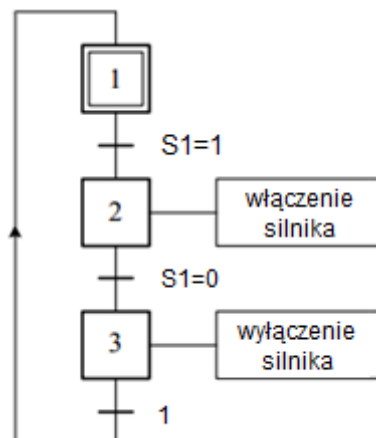
Stosowanie związków logicznych w warunkach przy przejściach (tranzycjach) jest konieczne, ponieważ w metodzie GRAFCET nie wolno umieszczać kilku tranzycji po sobie by wpisywać przy nich po jednym warunku. Jeżeli przejście do kolejnego kroku wymaga spełnienia np. dwóch warunków to należy je powiązać logicznie i umieścić przy jednej tranzycji:



Przy okazji wspomnę, że błędem jest też brak tranzycji między sąsiednimi krokami:



Jeżeli natomiast warunek zapisany jest po prostu jako „1”, to oznacza to tzw. **warunek zawsze prawdziwy**. Wtedy układ z kroku poprzedzającego taki warunek zawsze i natychmiast przechodzi do kroku następującego po tym warunku, bez względu na stan jakiegokolwiek elementu układu. Z koniecznością użycia takiego warunku możemy się czasami spotkać po ostatnim kroku w diagramie, kiedy to chcemy zaznaczyć, że układ po jego wykonaniu zawsze wróci do kroku początkowego:



W szkolnej rzeczywistości działaniami realizowanymi przez układ w danym kroku najczęściej są działania odnoszące się do stanu:

- tłoczyska siłownika (np. wysuwanie, wsuwanie, zatrzymanie w określonej pozycji),
- silnika (np. załączenie lub wyłączenie),
- lampki (np. załączenie lub wyłączenie),
- zaworu lub przekaźnika czasowego (np. rozpoczęcie odmierzenia czasu lub reset timera),
- licznika (np. zwiększenie lub zmniejszenie stanu licznika, reset licznika).

W metodzie GRAFCET działania te mogą być określane na kilka sposobów:

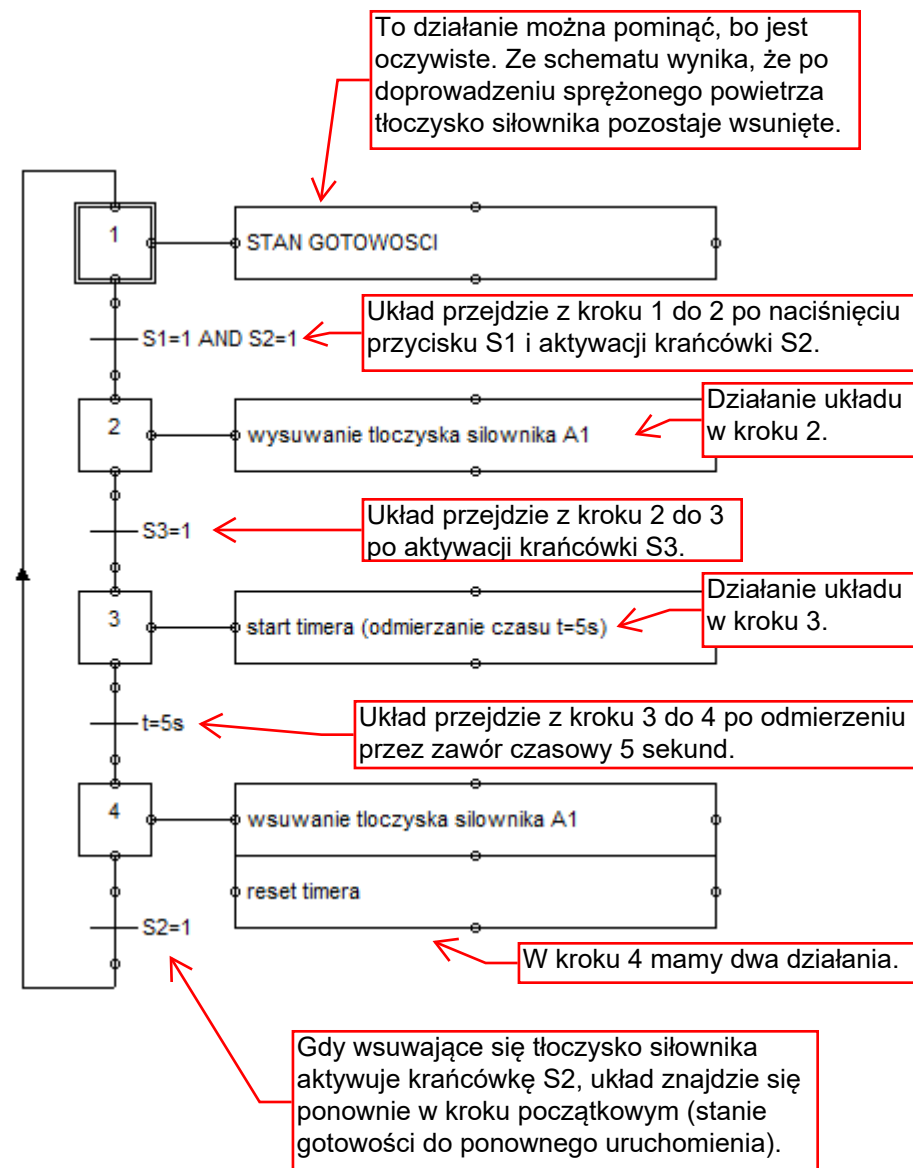
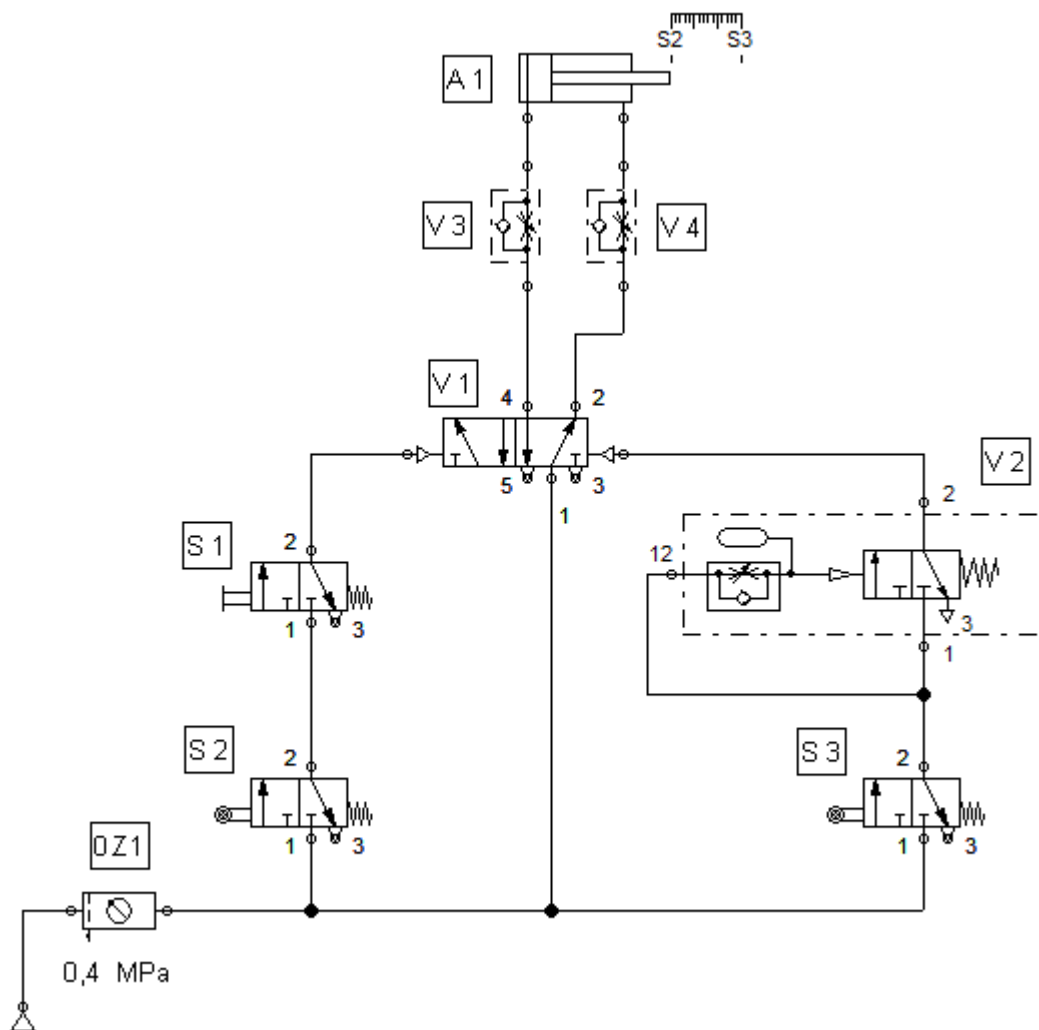
- opisowo (słownie), np. wysuwanie tłoczyska siłownika A1, uruchomienie silnika, sygnalizacja stanu awarii urządzenia itp.
- symbolicznie, np. Y1=1, K1=1, H1=1 itp.
- mieszanie (opisowo i symbolicznie).

Sposób opisowy jest czytelniejszy, ale dłuższy. Sposób symboliczny jest krótszy, ale wymaga sprawdzenia na schemacie układu, co się stanie np. po zasileniu cewki elektrozaworu Y1 (wysuwanie tłoczyska siłownika A1), zasileniu cewki stycznika K1 (uruchomienie silnika), zasileniu lampki H1 (sygnalizacja stanu awarii urządzenia).

Tyle tytułem wstępu teoretycznego.

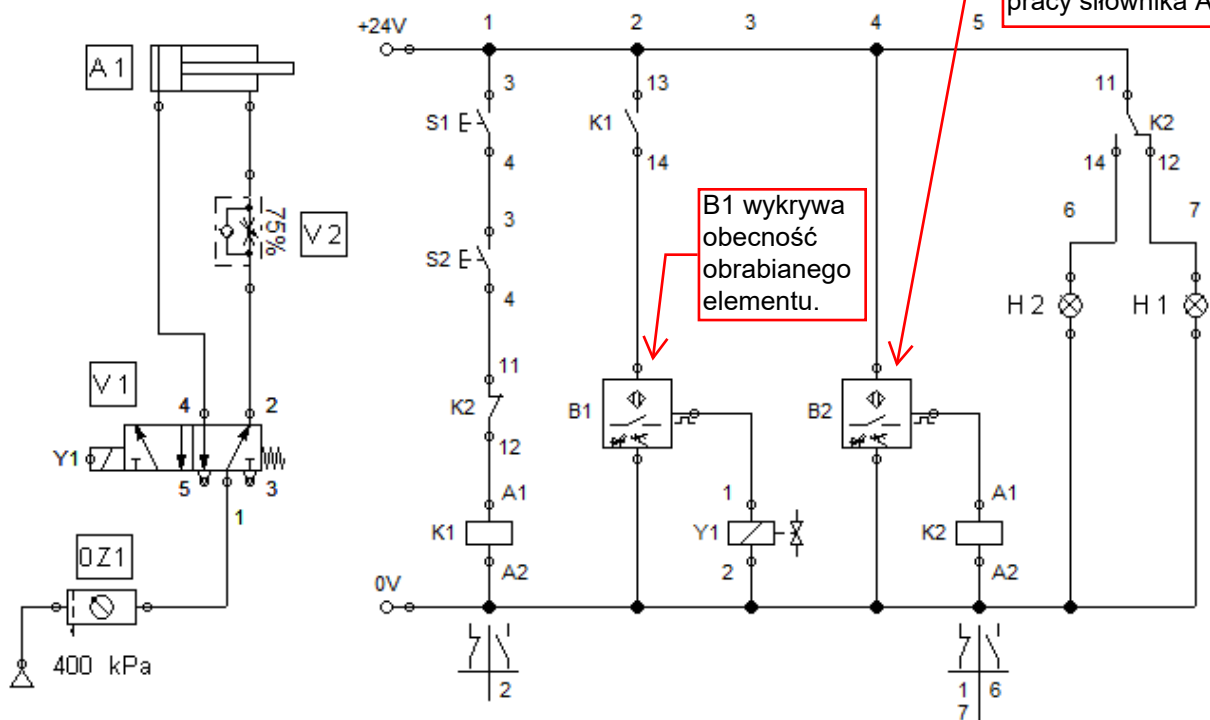
Zapraszam teraz do przeanalizowania diagramów GRAFCET dla przykładowych układów.

Przykład 1: Układ pneumatyczny



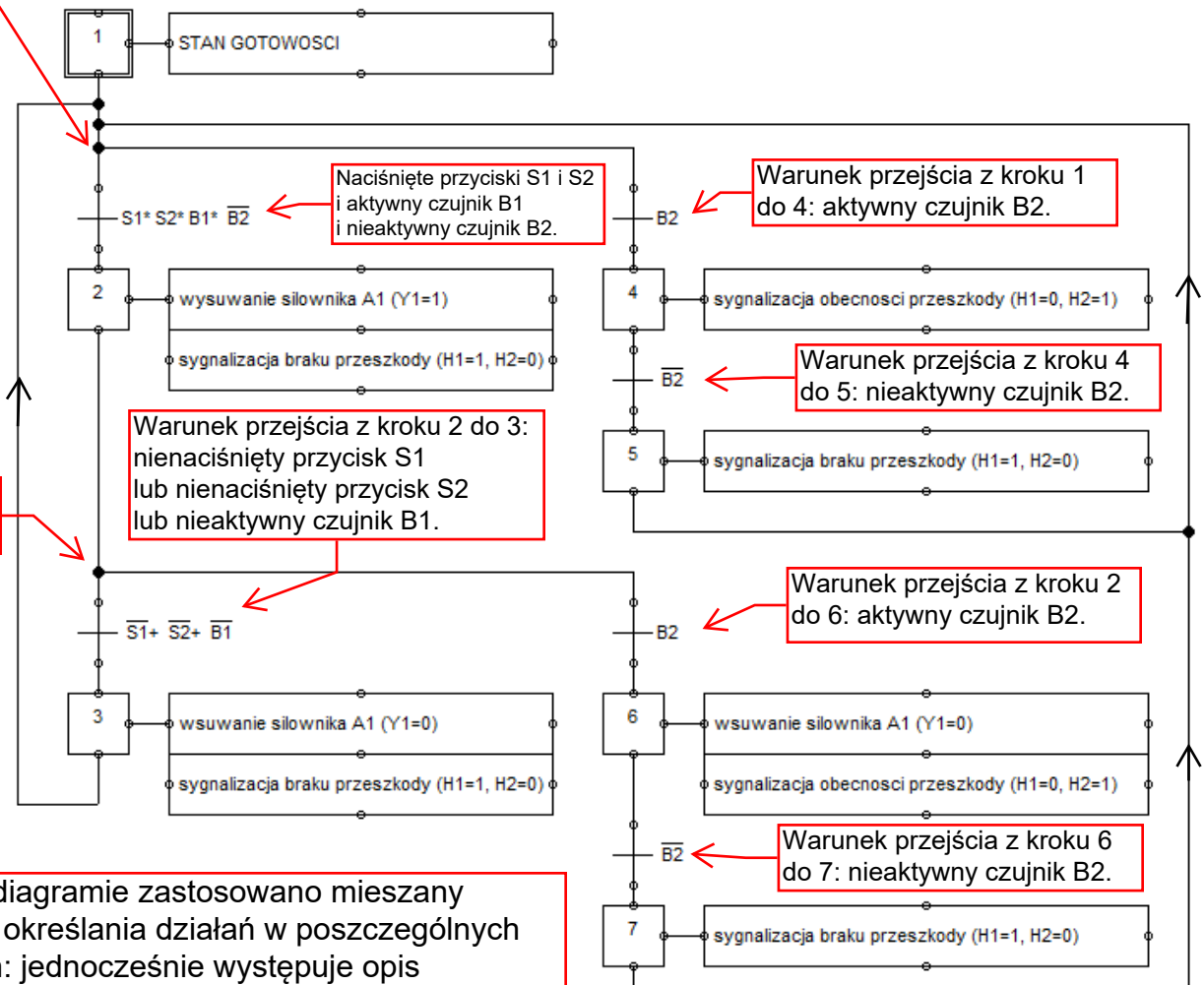
Przykład 2: Układ elektropneumatyczny ze sterowaniem przekaźnikowym

W tym układzie B2 służy do wykrywania przeszkody w polu pracy siłownika A1.



B1 wykrywa obecność obrabianego elementu.

W tym miejscu występuje alternatywa. Jeżeli spełniony zostanie warunek $S1 \cdot S2 \cdot B1 \cdot \bar{B2}$, to układ z kroku 1 przejdzie do kroku 2. Jeżeli zostanie spełniony warunek B2, to układ z kroku 1 przejdzie do kroku 4.



Naciśnięte przyciski S1 i S2 i aktywny czujnik B1 i nieaktywny czujnik B2.

Warunek przejścia z kroku 1 do 4: aktywny czujnik B2.

Warunek przejścia z kroku 2 do 3: nienaścięty przycisk S1 lub nienaścięty przycisk S2 lub nieaktywny czujnik B1.

Warunek przejścia z kroku 4 do 5: nieaktywny czujnik B2.

Kolejna alternatywa

$\bar{S1} + \bar{S2} + \bar{B1}$

Warunek przejścia z kroku 2 do 6: aktywny czujnik B2.

Warunek przejścia z kroku 6 do 7: nieaktywny czujnik B2.

W tym diagramie zastosowano mieszany sposób określania działań w poszczególnych krokach: jednocześnie występuje opis (np. wsuwanie siłownika A1) i symbol załączanego lub wyłączanego w tym momencie elementu układu sterowania (np. $Y1=0$).

Przykład 3: Układ elektropneumatyczny ze sterownikiem PLC

Przykład 3 jest do samodzielnej analizy.

