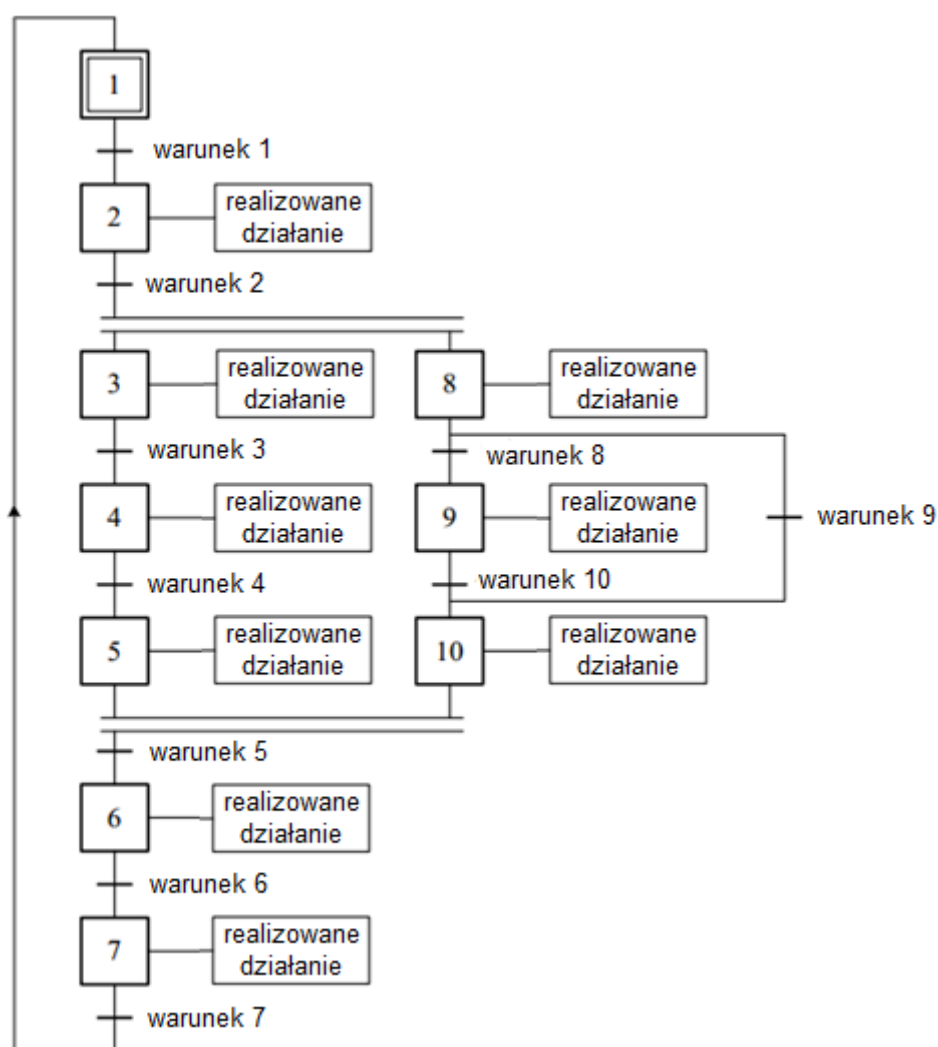


GRAF CET

Pracę układu mechatronicznego można przedstawić w sposób graficzny wykorzystując 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.

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 mechatronicznego. Na tym etapie omawiania metody GRAFCET nie jest ważne jakie konkretnie działania realizowane są przez ten układ ani jakie warunki muszą być spełnione, aby działania te mogły być wykonane. Z punktu dydaktycznego ważne jest to, że w poniższym schemacie wykorzystano niemal wszystkie symbole i oznaczenia graficzne właściwe dla metody GRAFCET.



Zanim zaczniemy omawiać poszczególne elementy diagramu zwróćcie 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.

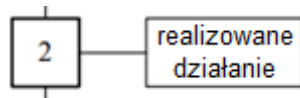
Diagram GRAFCET składa się z dwóch podstawowych elementów:

- 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.

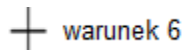
Kroki mają postać kwadratów oznaczonych kolejnymi numerami. Szczególnym krokiem jest krok początkowy, ponieważ to od niego zaczyna się praca układu. Krok początkowy ma najniższy numer w całym diagramie (najczęściej numer 1, ale niektórzy stosują też numer 0) i posiada podwójne obramowanie, czym wyraźnie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

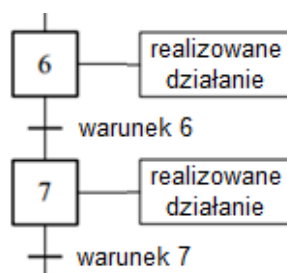
- a) układ realizuje aktualnie krok znajdujący się bezpośrednio przed danym przejściem,
- b) warunek przejścia jest spełniony (prawdziwy).

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

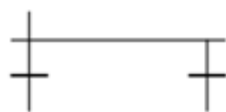
Przykład:

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.



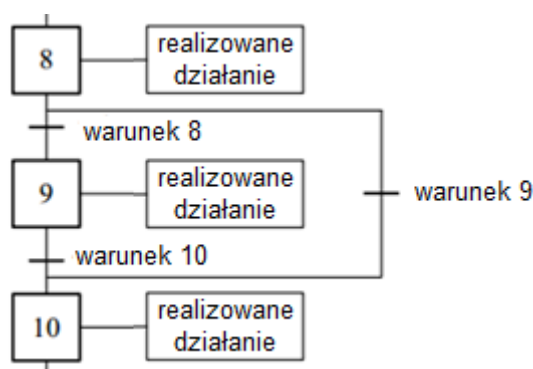
oznacza
rozpoczęcie działania
alternatywnego



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:

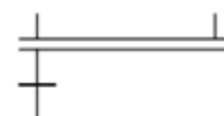
- numeracja kroków nie ma związku z kolejnością ich wykonywania** (przy spełnieniu odpowiednich warunków można np. z kroku 8 przejść do kroku 10 z pominięciem kroku 9),
- warunki w alternatywie muszą się wzajemnie wykluczać**, aby nie doszło do sytuacji, w której np. dwa warunki spełnione są jednocześnie.

Gdy niemożliwe jest stworzenie w alternatywie warunków wzajemnie wykluczających się, to warunek o wyższym priorytecie powinien być zapisany po lewej stronie lub dodatkowo oznaczony, np. gwiazdką. Wówczas wiadomo będzie, do którego kroku należy przejść i które działanie będzie realizowane przy jednoczesnym spełnieniu kilku warunków.

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



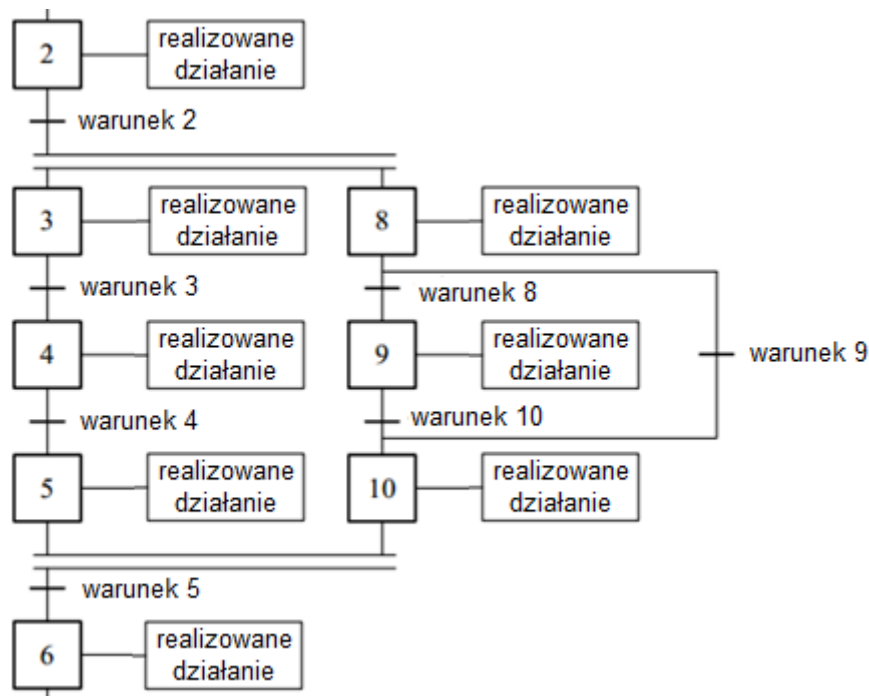
oznacza
zakończenie
koniunkcji działań

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. Wiadomo bowiem, że stan układu zmienia się np. po naciśnięciu przycisku, aktywacji krańcówki lub czujnika, odmierzeniu czasu przez przekaźnik lub zawór czasowy itp. Stan danego elementu w diagramie oznacza się w następujący sposób (w przykładzie występuje przycisk, 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:

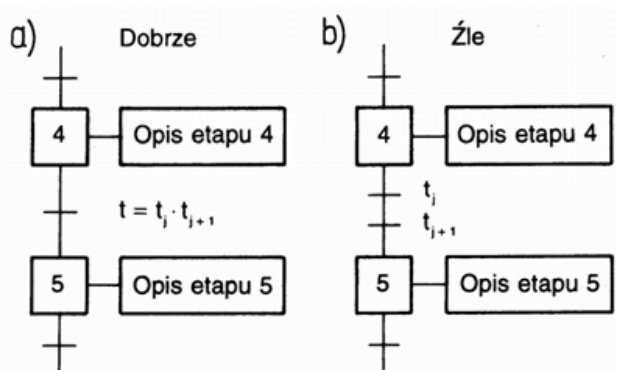
- $t < 5s$ – oznacza, że nie upłynęło jeszcze 5s od chwili rozpoczęcia odmierzenia czasu,
- $t \leq 5s$ – oznacza, że upłynęło nie więcej niż 5s od chwili rozpoczęcia odmierzenia czasu,
- $t = 5s$ – oznacza, że upłynęło dokładnie 5s od chwili rozpoczęcia odmierzenia czasu,
- $t \geq 5s$ – oznacza, że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

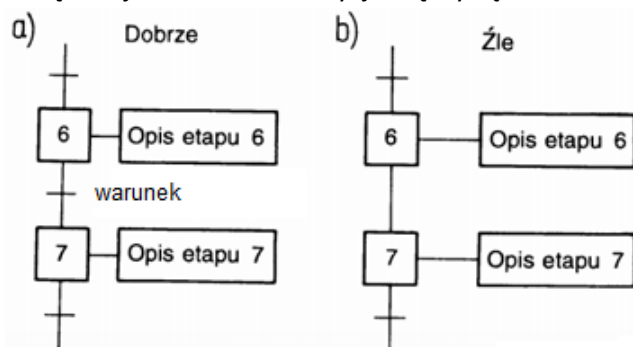
Nie zawsze jest tak, że przy tranzycji występuje prosty warunek w postaci np. $S1=1$. Często jest tak, że warunek jest bardziej skomplikowany, bo uwzględnia stan kilku elementów, np. przycisku S1 i czujnika B1. Warunek taki musi wtedy określać związek logiczny między stanem poszczególnych elementów, 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 AND $\overline{B1}$	$S1 \cap \overline{B1}$	$S1 \wedge \overline{B1}$	$S1 * \overline{B1}$
S1 lub $\overline{B1}$	S1 OR $\overline{B1}$	$S1 \cup \overline{B1}$	$S1 \vee \overline{B1}$	$S1 + \overline{B1}$

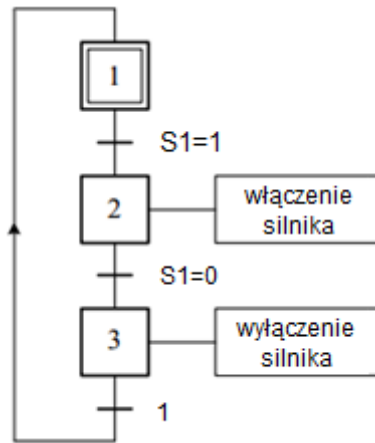
Stosowanie związków logicznych w warunkach przy przejściach (tranzycjach) jest konieczne, ponieważ w metodzie GRAFCET nie wolno umieszczać kilku tranzycji po sobie by wpisywać przy nich po jednym warunku. Jeżeli przejście do kolejnego kroku wymaga spełnienia np. dwóch warunków to należy je powiązać logicznie 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. włączenie lub wyłączenie),
- lampki (np. włączenie lub wyłączenie),
- zaworu lub przekaźnika czasowego (np. rozpoczęcie odmierzenia czasu lub reset timer),
- licznika (np. zwiększenie lub zmniejszenie stanu licznika, reset licznika).

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

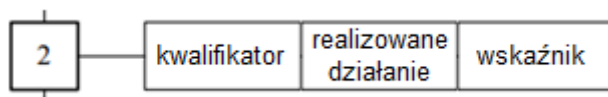
- opisowo (słownie), np. wysuwanie tłoczyska siłownika A1, uruchomienie silnika, sygnalizacja stanu awarii urządzenia itp.
- symbolicznie, np. Y1=1, K1=1, H1=1 itp.
- mieszanie (opisowo i symbolicznie).

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).

SFC

Język SFC (Sequential Function Chart) opisuje w sposób graficzny procesy wykonywane sekwencyjnie. Jest rozwinięciem metody GRAFCET opisanej we francuskiej normie NF-C-3-190 w roku 1978. W 1988 roku organizacja IEC (International Electrotechnical Commission - Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna) adaptowała metodę GRAFCET jako międzynarodowy standard języka do programowania procesów sekwencyjnych i oznaczyła go symbolem IEC 848. Norma ta została następnie zawarta w normie IEC 61131-3 właśnie jako język SFC. Dziś standard i język SFC są akceptowane przez przemysł i wykorzystywane przez wiele aplikacji do projektowania i programowania sterowników PLC.

Podstawową różnicą między metodą GRAFCET a językiem SFC jest konstrukcja bloku akcji (działania), występującego przy każdym kroku diagramu. W bloku akcji języka SFC, oprócz pola z opisem działania wykonywanego przez układ w danym kroku, umieszcza się tzw. kwalifikator akcji oraz wskaźnik. Wygląda to następująco:



Kwalifikator określa warunki wykonania opisanej obok akcji (działania), np. kiedy akcja ma wystartować, jak długo ma trwać itp. Kwalifikator ma formę jednej lub dwóch liter.

Wskaźnikiem może natomiast być:

- zmienna logiczna zwrotna, której wartość, np. stan "0" lub "1" informuje o wykonaniu danej akcji,
- numer kroku, w którym akcja zapamiętana w danym kroku przez użycie kwalifikatora S zostanie zresetowana z użyciem kwalifikatora R.

Na naszych zajęciach, przy tworzeniu diagramów z użyciem języka SFC, nie będziemy stosować wskaźników (nie są one obowiązkowe). Zatem konstrukcja bloku akcji (działania) w naszym przypadku będzie wyglądała tak:



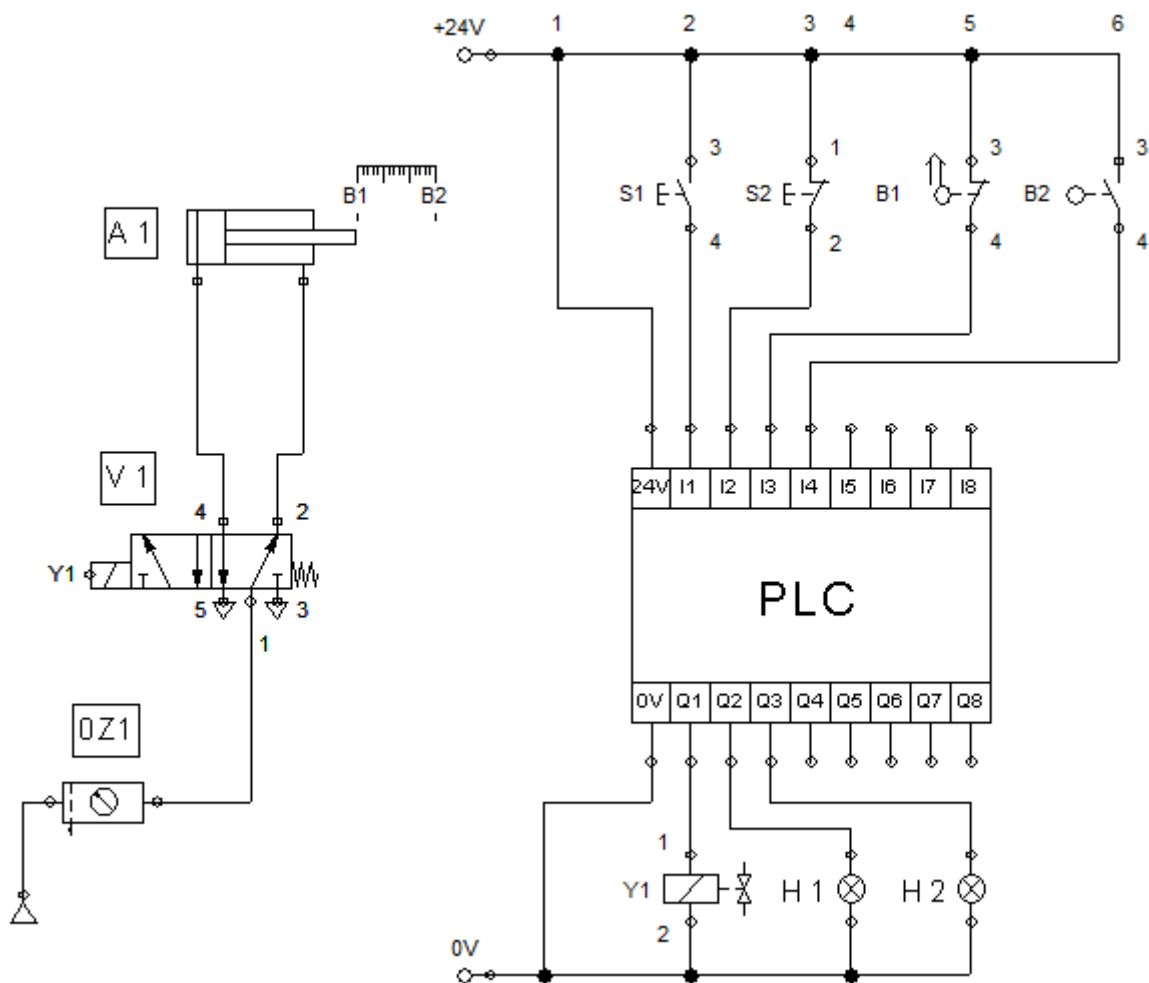
W tabeli na następnej stronie zestawiono kwalifikatory stosowane w diagramach SFC, ich znaczenie oraz krótki opis rozwijający znaczenie danego kwalifikatora. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że stosowanie kwalifikatorów w diagramach SFC nie jest obowiązkowe. **Brak kwalifikatora w bloku akcji jest bowiem interpretowany tak samo, jak kwalifikator N. Diagram SFC w całości pozbawiony kwalifikatorów będzie więc wyglądał identycznie jak diagram GRAFCET.** Można zatem stwierdzić, że diagram GRAFCET jest szczególnym przypadkiem diagramu SFC.

Kwalifikator	Znaczenie	Opis
brak	akcja niezapamiętywana, chwilowa	Akcja jest aktywna tak długo, jak aktywny jest krok. Po przejściu układu do kolejnego kroku akcja nie jest już aktywna (nie jest realizowana).
N	akcja niezapamiętywana, chwilowa (ang. <i>Non-stored</i>)	Akcja jest aktywna tak długo, jak aktywny jest krok. Po przejściu układu do kolejnego kroku akcja nie jest już aktywna (nie jest realizowana).
S	akcja zapamiętywana (ang. <i>set-Stored</i>)	Akcja staje się aktywna, gdy krok jest aktywny i trwa do momentu dezaktywacji. Akcja będzie wykonywana nawet jeśli dany krok przestanie już być aktywny, czyli nawet po przejściu układu do kolejnego kroku. Akcja z kwalifikatorem S powinna być kasowana w innym kroku przez użycie kwalifikatora R dla tej akcji.
R	kasowanie/reset akcji (ang. <i>overriding Reset</i>)	Akcja aktywowana kwalifikatorem S w innym kroku jest natychmiast dezaktywowana (reset), gdy układ znajdzie się w kroku, w którym ta sama akcja występuje z kwalifikatorem R.
L	akcja ograniczona czasowo (ang. <i>time Limited</i>)	Akcja jest aktywna przez określony czas od momentu aktywacji kroku (maksymalnie przez czas aktywności tego kroku). Po przejściu układu do kolejnego kroku akcja nie jest już aktywna (nie jest realizowana), nawet jeśli czas przeznaczony na daną akcję jeszcze nie upłynął.
D	akcja opóźniona czasowo (ang. <i>time Delayed</i>)	Akcja staje się aktywna po określonym czasie od momentu aktywacji kroku, jeśli krok jest nadal aktywny i pozostaje aktywna tak długo jak krok jest aktywny. Jeśli przed upływem tego czasu krok przestanie być aktywny (układ przejdzie do kolejnego kroku), to akcja nie będzie w ogóle wykonana.
P	impuls (ang. <i>Pulse</i>)	Akcja wykonywana jest tylko jeden raz (przez jeden cykl sterownika, czyli przez bardzo krótki czas) w momencie, gdy krok staje się aktywny. Akcja wykonywana jest tylko jeden raz nawet wtedy, gdy układ pozostaje w danym kroku na dłużej.
SD	akcja zapamiętywana i opóźniona czasowo (ang. <i>Stored and time Delayed</i>)	Akcja staje się aktywna po określonym czasie od momentu aktywacji kroku (nawet jeśli przed upływem tego czasu krok przestał być aktywny) i trwa do momentu dezaktywacji (reset).
DS	akcja opóźniona i zapamiętywana (ang. <i>Delayed and Stored</i>)	Akcja staje się aktywna po określonym czasie od momentu aktywacji kroku jeżeli tylko krok ten nadal jest aktywny i trwa do momentu dezaktywacji (reset).
SL	akcja zapamiętywana i ograniczona czasowo (ang. <i>Stored and time Limited</i>)	Akcja jest aktywna przez określony czas od momentu aktywacji kroku, bez względu na to, jak długo skojarzony z nią krok pozostaje aktywny. Przejście układu do kolejnego kroku przed upłynięciem danego czasu nie powoduje przerwania akcji.

Kwalifikatory L, D, SD, DS i SL wymagają podania wartości czasu przy opisie realizowanego działania.

Na tym teoria się kończy. Teraz przykłady zastosowania języka SFC do opisu działania układu mechatronicznego.

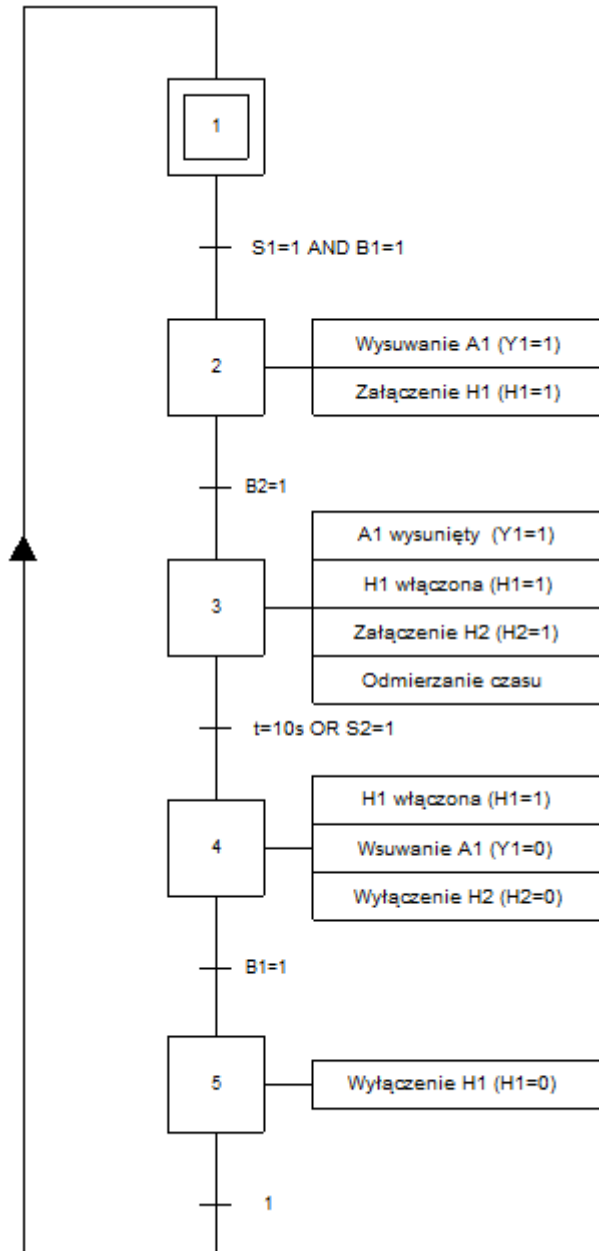
Przykład 1



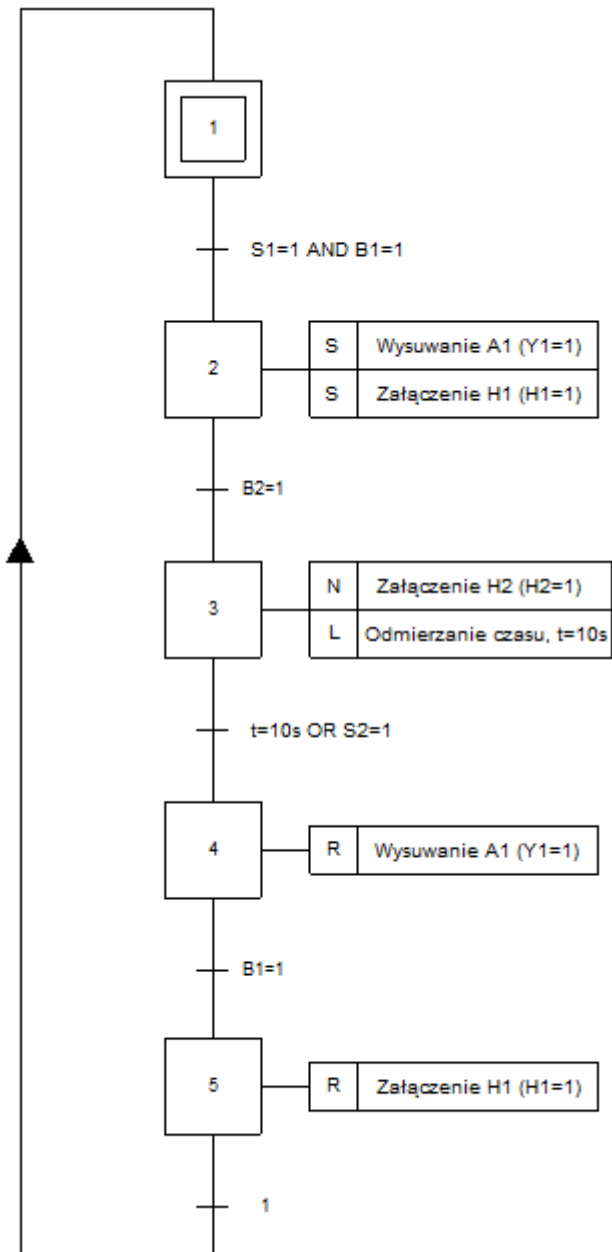
Opis słowny pracy układu:

Jeżeli tłoczysko siłownika A1 jest wsunięte (wyłącznik krańcowy B1 jest aktywowany), to po naciśnięciu przycisku S1 cewka Y1 elektrozaworu V1 zostaje zasilona, dzięki czemu tłoczysko siłownika A1 wysuwa się. Praca układu sygnalizowana jest świeceniem lampki H1. Po osiągnięciu pozycji całkowitego wysunięcia, tłoczysko aktywuje wyłącznik krańcowy B2. Aktywacja wyłącznika B2 powoduje z kolei załączenie lampki H2 i rozpoczyna odmierzenie czasu. Po upływie czasu $t=10s$ lub po naciśnięciu przycisku S2, lampka H2 wyłącza się, a cewka Y1 elektrozaworu V1 przestaje być zasilana, przez co następuje wsunięcie tłoczyska siłownika A1. Po osiągnięciu pozycji całkowitego wsunięcia tłoczysko aktywuje wyłącznik krańcowy B1. W tym momencie kończy się praca układu i lampka H1 gaśnie.

Opis graficzny pracy układu metodą **GRAFSET**:



Opis graficzny pracy układu metodą **SFC**:



Zgodnie z zasadami GRAFCET i SFC, wszystkie działania realizowane w danym kroku przestają być wykonywane po przejściu do następnego kroku. Zatem jeżeli jakieś działanie rozpoczęte np. w kroku 2 ma być kontynuowane w następnych krokach, to z zasady tej wynika, że w diagramie GRAFCET należy to działanie ponowić w kolejnych krokach. Widać to w powyższym diagramie GRAFCET, w którym np. lampka H1 załączona w kroku 2 pojawia się również w krokach 3 i 4, bo jej świecenie ma być utrzymywane aż do wyłączenia w kroku 5. Podobnie jest z cewką Y1. Gdyby działanie Y1=1 nie pojawiło się w kroku 3, to tłoczysko siłownika zostałoby wsunięte (działanie Y1=1 z kroku 2 nie byłoby już realizowane w kroku 3 i monostabilny zawór V1 wróciłby przez to do pozycji początkowej pod wpływem sprężyny). W języku SFC, dzięki kwalifikatorowi „S” nie musimy powtarzać tych działań w kolejnych krokach, bo kwalifikator „S” oznacza zapamiętanie realizowania danego działania aż do jego odwołania kwalifikatorem „R”. Należy tu zaznaczyć, że **działanie z kwalifikatorem „R” musi brzmieć identycznie jak to samo działanie z kwalifikatorem „S”**. Odwołując np. załączenie H1 (H1=1) musimy przy kwalifikatorze „R” zapisać „załączenie H1 (H1=1)”. Nie można tu wpisać „wyłączenie H1 (H1=0)”, tak jak w diagramie GRAFCET, bo działanie o takim brzmieniu nie wystąpiło wcześniej w diagramie SFC. Kwalifikatorem „R” resetujemy tylko działanie aktywowane wcześniej kwalifikatorem „S”. Poza tym zresetowanie działania „wyłączenie H1 (H1=0)” oznaczałoby w rzeczywistości włączenie H1, bo „R” odwołuje wtedy polecenie wyłączenia H1.

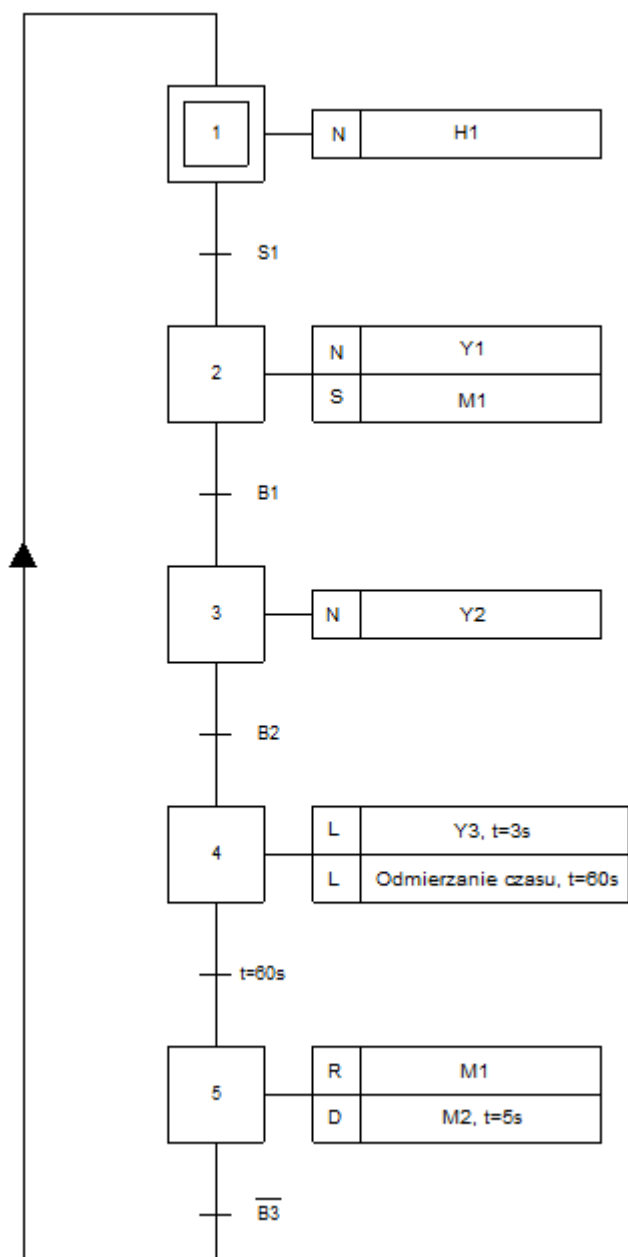
Z porównania diagramów GRAFCET i SFC wynika, że stosowanie kwalifikatorów upraszcza diagram, zwiększa jego czytelność, a w wielu przypadkach pozwala nawet na zmniejszenie liczby kroków diagramu.

Przykład 2

Opis słowny pracy układu:

Po włączeniu zasilania mieszalnik przemysłowy znajduje się w stanie gotowości do pracy, co sygnalizowane jest świeceniem lampki H1. Po naciśnięciu przycisku S1 lampka H1 gaśnie i mieszalnik rozpoczyna pracę: wsypywana jest substancja nr 1 (poprzez zadziałanie elektrozaworu z cewką Y1) i uruchamiane jest mieszadło (poprzez zasilenie silnika M1). Jeżeli czujnik B1 zasygnalizuje osiągnięcie przez substancję nr 1 odpowiedniego poziomu w zbiorniku, to wsypywanie substancji nr 1 zostanie przerwane, a rozpocznie się wsypywanie substancji nr 2 (poprzez zadziałanie elektrozaworu z cewką Y2). Jeżeli czujnik B2 zasygnalizuje osiągnięcie przez substancję nr 2 odpowiedniego poziomu w zbiorniku, to wsypywanie substancji nr 2 zostanie przerwane, a rozpocznie się dolewanie wody do zbiornika (poprzez zadziałanie elektrozaworu z cewką Y3) i odmierzanie czasu. Po upływie 3 sekund woda nie będzie już dolewana. Obie substancje wraz z wodą będą mieszane jeszcze przez kolejne 57 sekund. Po tym czasie nastąpi wyłączenie mieszadła, natomiast opróżnienie zbiornika (poprzez zasilenie pompy M2) nastąpi 5s później niż wyłączenie mieszadła. Zbiornik mieszalnika będzie pusty, gdy czujnik B3 nie będzie wykrywał obecności substancji. Wówczas mieszalnik zakończy swoją pracę i wróci do stanu gotowości (lampka H1 ponownie zaświeci się).

Opis graficzny pracy układu metodą SFC:



W przykładzie 2 zastosowano kolejne uproszczenia, które jeszcze bardziej zwiększają czytelność diagramu:

- w polach akcji umieszczone zostały jedynie symbole sterowanych elementów (H1, Y1, Y2, M1, M2), a o tym, czy dany element jest załączany, czy wyłączany decyduje zastosowany kwalifikator,
- stan elementów przy tranzycjach zapisano sposobem 2, przytoczonym wcześniej przy opisywaniu metody GRAFCET:

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