

# Podstawowe moduły sterownika PLC

## WYKORZYSTANIE PRZEMYSŁOWYCH URZĄDZEŃ MIKROPROCESOROWYCH W STEROWANIU PROSTYMI I ZŁOŻONYMI PROCESAMI MECHATRONICZNYMI

DR INŻ. ZBIGNIEW SETA

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

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

## Spis treści

PRZEDMOWA.....	2
Budowa sterowników programowalnych PLC.....	4
1. Moduł CPU.....	4
2. Moduły wejść.....	11
2.1. Moduły wejść cyfrowych DI.....	13
2.2. Moduły wejść analogowych AI .....	20
3. Moduły wyjść.....	24
3.1. Moduły wyjść cyfrowych DO .....	25
3.2. Moduły wyjść analogowych AO.....	29
4. Moduły zasilaczy sterowników PLC .....	32
BIBLIOGRAFIA .....	34

## PRZEDMOWA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Budowa sterowników programowalnych PLC.

W podrozdziałach 1.3÷1.5 scharakteryzowano ogólnie genezę powstania sterownika cyfrowego PLC. Podano jego definicję, ogólną architekturę logiczną, podstawowe typy tych urządzeń oraz wyszczególniono i podano przeznaczenie podstawowych modułów funkcjonalnych sterownika cyfrowego PLC. Zasygnalizowano również sposób włączenia sterownika cyfrowego PLC w układ sterowania systemem mechatronicznym. To ostatnie zagadnienie jest wprowadzeniem do budowy sterowników PLC, która ewoluując od momentu powstania pierwszego sterownika cyfrowego PLC musiała odpowiadać coraz to większym potrzebom kontrolowania prostych oraz złożonych systemów mechatronicznych.

### 1. Moduł CPU

Bez względu na rodzaj sterownika cyfrowego PLC, czy to typu modułowego (ang. **module PLC**) czy kompaktowego (ang. **Compact PLC**), warunkiem poprawnego funkcjonowania tego urządzenia jest poprawne działanie, lub lepiej - współdziałanie wszystkich modułów sterownika cyfrowego PLC. Priorytet swojej ważności określonych bloków sterownika PLC nie istnieje, gdyż żaden wybrany moduł nie uczyni tego urządzenia jako całości w pełni funkcjonalnym. Jednak uważa się, że najważniejszym modułem sterownika PLC jest moduł **CPU** (ang. **Central Processing Unit**), gdyż moduł ten zawiera najistotniejszy z wielu powodów układ cyfrowy urządzenia - mikroprocesor. To od możliwości mikroprocesora zależą, bowiem parametry funkcjonalne samego sterownika PLC oraz sposób współpracy tegoż sterownika z innymi urządzeniami procesowymi w ramach układów sterowania systemami mechatronicznymi. Często spotykane w literaturze technicznej określenie mikroprocesora jako „serca” sterownika cyfrowego PLC jest w pełni uzasadnione.

#### DEFINICJA

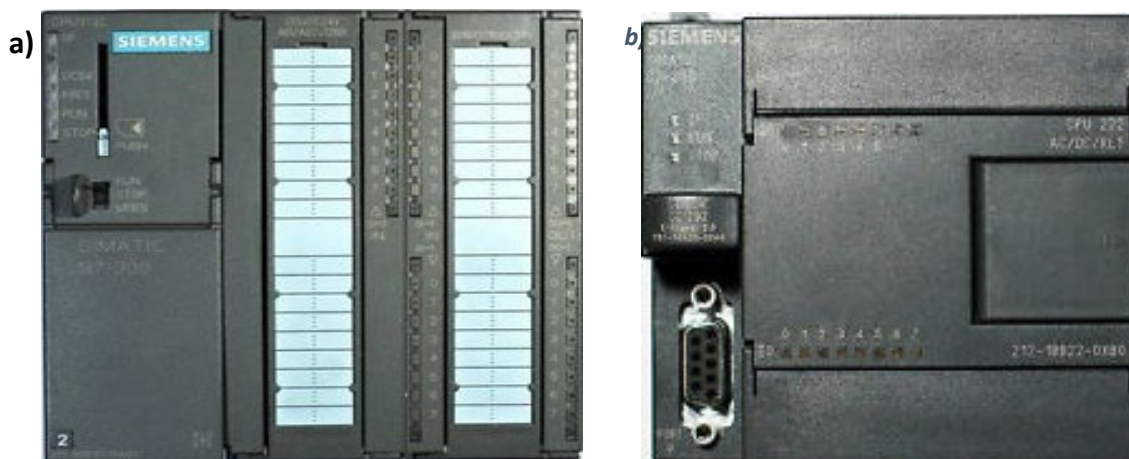
*[Urządzenie elektroniczne typu złożonego – urządzenie, które jest już fizycznie skonfigurowane w ten sposób, że poszczególne bloki (moduły) urządzenia umieszczone są we wspólnej dla wszystkich modułów obudowie, która trwale zespaja wszystkie moduły konfiguracyjne. Cechą wyróżniającą jest brak możliwości wymiany danego modułu na nowy (inny) na wypadek jego uszkodzenia lub zmiany konfiguracji urządzenia]*

#### DEFINICJA

*[Urządzenie elektroniczne typu modułowego – urządzenie, które fizycznie konfiguruje się w ten sposób, że poszczególne bloki (moduły) urządzenia umieszcza się na wspólnej dla wszystkich modułów szynie montażowej, która trwale zespaja wszystkie moduły konfiguracyjne. Elektryczne zespolenie wszystkich modułów następuje za pośrednictwem tzw. magistrali sygnałowej. Cechą wyróżniającą jest możliwość łatwej wymiany danego modułu na nowy (inny) na wypadek jego uszkodzenia lub zmiany konfiguracji]*

Moduł **CPU**, w zależności od rodzaju sterownika PLC jest różnie usytuowany w konfiguracji fizycznej oraz programowej tego urządzenia. W sterownikach **Compact PLC** moduł **CPU** umieszczony jest w jednej obudowie z innymi blokami urządzenia i co najistotniejsze, taki moduł **CPU** nie jest wymienialny, zaś w sterownikach PLC typu modułowego, moduł **CPU** stanowi odrębny i wymienialny zespół, do którego dokonfigurowywuje się inne moduły sterownika, czyniąc go w pełni funkcjonalnym do konkretnej aplikacji sterowania procesem mechatronicznym.

Rysunek 19 ilustruje przykładowe postacie fizyczne dwóch rodzajów sterowników PLC: sterownika typu modułowego, w którym możemy wyróżnić moduł **CPU** (pierwszy z lewej) oraz typu kompaktowego.



*Rysunek 19: Typowe postaci sterowników cyfrowych PLC: a) sterownik modułowy firmy SIEMENS rodziny S7 – 300; b) sterownik typu złożonego firmy SIEMENS rodziny S7 - 200*

Na rysunku **19a)** widać wyraźnie, że moduł **CPU** (pierwszy z lewej) jest „klockiem”, który jest zestawiany łącznie z innymi modułami sterownika PLC typu modułowego, oraz że wyróżnia się on z pośród pozostałych modułów poprzez m.in. zintegrowany z tym modułem zestaw wskaźników optycznych typu LED, których znaczenie opisano w podrozdziale 1.4. Bez wątpliwości widać też z rysunku **19a)**, iż oparcie konfiguracji sterownika PLC wyłącznie na pojedynczym module **CPU** byłoby bezcelowe, gdyż taka konfiguracja sterownika nie mogłaby być połączona z jakimkolwiek układem sterowania dla systemu mechatronicznego. Tzn. wprowadzony do pamięci modułu **CPU** program użytkownika mógłby być wykonywany, tylko nie miałby on przełożenia na sterowanie systemem mechatronicznym, gdyż to wymaga modułów wejścia/wyjścia, a ww. konfiguracja tego nie posiada. Z rysunku **19a)** widać również, że do modułu **CPU** może być dokonfigurowane inne moduły funkcjonalne, których liczba związana jest z określonym typem modułu **CPU**. Rysunek **19b)** pokazuje z kolei przykład sterownika PLC typu **Compact PLC**, który na swoim „pokładzie” posiada zintegrowany z innymi blokami sterownika (niewidoczny na rys. 19b)) moduł **CPU**. Ten rodzaj sterownika PLC posiada sztywno określoną konfigurację urządzenia, bez możliwości wymiany modułów, które wchodzi w jego skład. W przypadku potrzeby naprawy sterownika PLC lub zmiany jego konfiguracji na lepszą, inaczej niż to miało miejsce przy sterowniku PLC typu modułowego, należy wymienić cały sterownik PLC na nowy lub o lepszych parametrach. Najczęściej przy oznaczaniu fabrycznym sterowników typu kompaktowego (np. **CPU 221**, **CPU 227**, itp.), pod postacią takiego oznaczenia nie kryje się dany rodzaj modułu **CPU**, tylko konkretny sterownik typu kompaktowego.

Parametry modułu **CPU** sterownika PLC są ściśle związane z parametrami użytego w nim głównego układu cyfrowego – mikroprocesora i stanowią o wielu ważnych możliwościach układu sterowania systemem mechatronicznym, w którym określony sterownik PLC znalazł zastosowanie. Do najważniejszych z nich należą:

- szybkość działania – liczba wykonywanych rozkazów programowych w jednostce czasu (np. realizacja 1Kbajtu instrukcji programowych w czasie 1ms);
- liczba modułów rozszerzających, która może wchodzić w skład określonej konfiguracji programowej oraz fizycznej sterownika cyfrowego PLC (np.: ilość modułów wejść binarnych, ilość modułów wyjść binarnych, ilość modułów we/wy analogowych, itp.);
- wielkość programu sterującego, który może być umieszczony w pamięci programu sterownika cyfrowego PLC, liczona najczęściej w KBajtach;
- liczba bloków funkcyjnych takich jak liczniki, timery, itp.;
- liczba możliwych do użycia w programie sterującym bloków programowych (np. liczba bloków typu **OB** (ang. *Organization Block*), liczba bloków typu **PB** (ang. *Program Block*), itp.).

Potrzeba kontrolowania za pomocą sterowników PLC systemów mechatronicznych o różnym stopniu ich złożoności oraz konieczność modyfikacji układu sterowania, wynikająca z chęci modernizacji istniejącego systemu mechatronicznego, narzuciła na producentów sterowników PLC taką ich budowę, aby nawet najmniejsze te urządzenia, (czytaj: typu kompaktowego) miały możliwość swojej rozbudowy. Doprowadziło to konsekwentnie do tego, że obecnie na rynku sterowników PLC nawet sterowniki typu **Compact PLC** mają możliwość rozbudowy swojej „sztywnej” konfiguracji o dodatkowe moduły funkcjonalne, takie jak moduły wejść czy wyjść cyfrowych/analogowych, stając się *de facto* sterownikami typu modułowego. (Zachowano taką prawidłowość, że sterowniki PLC wyłącznie kompaktowe określonego producenta to takie, których numery (serie), określające daną rodzinę sterowników kompaktowych, rozpoczynają się najmniejszymi numerami porządkowymi. Na przykład dla rodziny sterowników typu kompaktowego SIMATIC S7 200 firmy Siemens, posiadających oznaczenia od **CPU 221** do **CPU 227**, sterownik wyłącznie kompaktowy to **CPU 221**).

Należy podkreślić, że możliwości (parametry) techniczne oraz programowe „takich” sterowników typu modułowego, (czyli utworzonych po rozbudowie sterowników kompaktowych), odbiegają znacznie od parametrów technicznych i programowych sterowników PLC, które z natury rzeczy zostały zbudowane jako sterowniki typu modułowego. O tym należy pamiętać dokonując określonego doboru sterownika PLC do układu sterowania systemem mechatronicznym. Może się bowiem okazać, że przyjęte założenie wykorzystania sterownika kompaktowego z opcją jego późniejszej rozbudowy zamiast sterownika PLC od początku typu modułowego nie zagwarantuje jakości sterowania systemem mechatronicznym. Przyjęta według tabeli szybkość realizacji programu przez określony sterownik **Compact PLC** byłaby do zaakceptowania, gdyby nie rozbudowano tego sterownika. Po jego rozbudowie, na skutek większego obciążenia obliczeniami mikroprocesora CPU nie jest już on do zaakceptowania. Gdyby od początku przewidziano aplikację sterownika typu modułowego, który jest przewidziany do rozbudowy swojej konfiguracji zamiast **Compact PLC**, jakość sterowania byłaby utrzymana.

Wybrane parametry dwóch modułów **CPU: 312 i 315DP** dla sterowników PLC typu modułowego oraz wybrane parametry dwóch sterowników typu **Compact PLC**, które identyfikuje oznaczenie porządkowe **CPU**, określające parametry nie modułu CPU, ale całego sterownika zilustrowano odpowiednio w **Tabeli 1** i **Tabeli 2**.

*Tabela 1: Wybrane parametry dwóch modułów CPU dla sterowników PLC typu modułowego rodziny SIMATIC S 7 – 300*

Parametry	Moduł CPU 312	Moduł CPU 315DP
▪ Narzędzie programujące:	STEP7 v. 5.2 + SP1	STEP7 v. 5.2 + SP1
<b>Zasilanie (wartość nominalna DC 24V)</b>		
▪ dopuszczalny, niski limit	20.4 V	20.4 V
▪ dopuszczalny, wysoki limit	28.8 V	28.8 V
▪ zużycie mocy, typ.	2.5 W	2.5 W
<b>Pamięć RAM</b>		
▪ zintegrowana	32KBajty dla danych i programu	128KBajty dla danych i programu
<b>Bloki DB</b>		
▪ maks. numer	511, zakres 1 do 511	1023, zakres 1 do 1023
▪ rozmiar maks.	16 K Bajty	16 K Bajty
<b>Bloki FB</b>		
▪ maks. numer	1024, sekwencja numerów 0 do 2047	1024, sekwencja numerów 0 do 2047
▪ rozmiar maks.	16 K Bajty	16 K Bajty
<b>Bloki FC</b>		
▪ maks. numer	1024, sekwencja numerów 0 do 2047	1024, sekwencja numerów 0 do 2047
▪ rozmiar maks.	16 K Bajty	16 K Bajty
<b>Bloki OB</b>		
▪ rozmiar maks.	16 K Bajty	16 K Bajty
<b>Czasy przetwarzania CPU</b>		
▪ Dla operacji na bitach min.	0.2 $\mu$ s	0.1 $\mu$ s
▪ Dla operacji na słowach min.	0.4 $\mu$ s	0.2 $\mu$ s
▪ Dla operacji stałoprzecinkowych min.	5 $\mu$ s	2 $\mu$ s
▪ Dla operacji zmiennoprzecinkowych min.	6 $\mu$ s	3 $\mu$ s
▪ Liczniki	128	256
▪ Timery	128	256



Tabela 2: Wybrane parametry dwóch modułów CPU dla sterowników PLC typu złożonego rodziny SIMATIC S 7 – 200

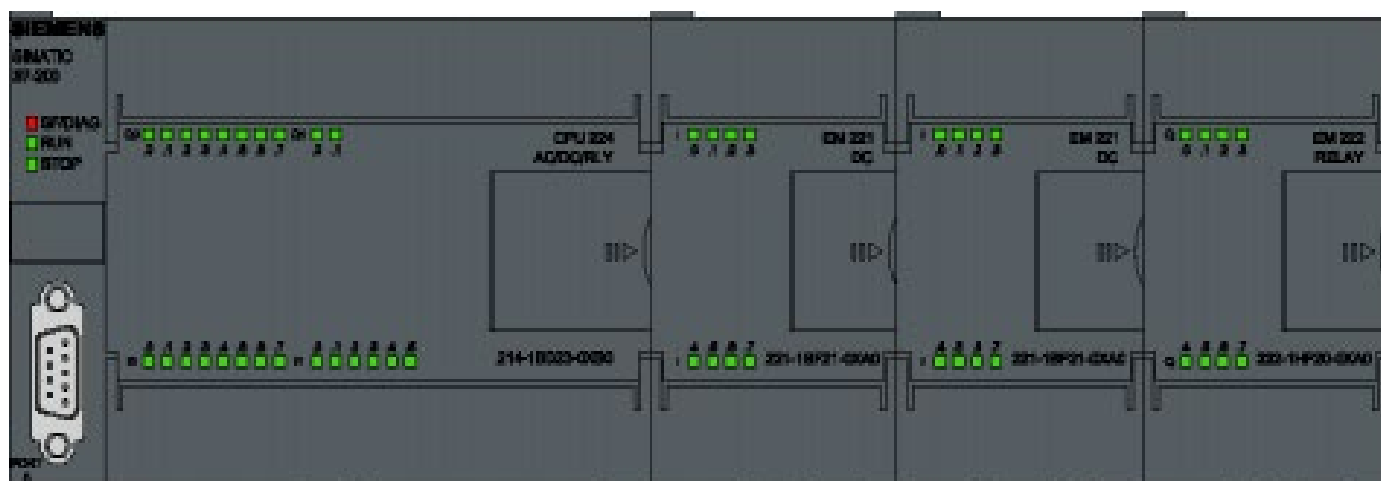
Parametry	Sterownik CPU 221	Sterownik CPU 224
▪ Narzędzie programujące	MicroWin	MicroWin
Pamięć programu:		
▪ Z edycją w trybie RUN	4096 bajtów	8192 bajtów
▪ Bez edycji w trybie RUN	4096 bajtów	12288 bajtów
Pamięć danych:	2048 bajtów	8192 bajtów
Bloki funkcyjne:	1 x OB	1 x OB
Wbudowane wejścia/wyjścia:		
▪ Cyfrowe	6 wejść/4 wyjścia	14 wejść/10 wyjścia
▪ analogowe	brak	brak
Możliwość rozbudowy konfiguracji	0 modułów	7 modułów
Szybkie liczniki:		
▪ jednofazowe	4 do 30 kHz	6 do 30 kHz
▪ dwufazowe	2 do 20 kHz	2 do 20 kHz
Impulsowe wyjścia (DC):	2 do 20 kHz	2 do 20 kHz
Potencjometr analogowy	1	2
Porty komunikacyjne	1 x RS 485	1 x RS 485
Szybkość wykonywania operacji cyfrowych	0,22 $\mu$ S / 1 instrukcję	0,22 $\mu$ S / 1 instrukcję
Napięcie zasilania	DC 24V, AC 230V	DC 24V, AC 230V

Analizując parametry z **Tabeli 2** pod kątem porównania sterownika typu **Compact PLC** ze sterownikiem **Module PLC (Tabela 1)** zauważyć można, że sterownik typu kompaktowego w podstawowej jego konfiguracji jest w pełni użytecznym urządzeniem do sterowania systemami mechatronicznymi. Widać to w liczbie parametrów, zamieszczonych w **Tabeli 2**. Wystarczy zatem doprowadzić do tego urządzenia napięcie zasilające (tutaj DC24V lub AC230V), dalej, doprowadzić sygnały wejścia/wyjścia oraz uruchomić utworzony wcześniej program użytkownika i sterownik taki może już kontrolować niewielki system mechatroniczny.

Niewielką wskazaną złożoność systemu mechatronicznego, który może być kontrolowany przez takie wyszczególnione w **Tabeli 2** sterowniki kompaktowe widać po liczbie wbudowanych w strukturę tych sterowników wejść oraz wyjść. Na przykład do urządzenia, które oznaczone jest symbolem **CPU 221** można podłączyć tylko 6 wejść cyfrowych oraz wyprowadzić sygnał do 4 wyjść, (do których możemy podłączyć np. cztery układy wykonawcze typu stycznik, przekaźnik czy sygnalizator optyczny), zaś do sterownika, który oznaczony jest symbolem **CPU 224** możemy w podstawowej jego konfiguracji podłączyć analogicznych 14 wejść cyfrowych oraz wyprowadzić sygnał cyfrowy do 10 wyjść. Dodatkowo kontrolowany system mechatroniczny „ma do dyspozycji” m.in. szybkie liczniki w odpowiedniej ich liczbie oraz potencjometry analogowe, których pokręta wpisują przeliczoną wartość nastawy do rejestru sterownika PLC. Dla porównania moduły sterownika modułowego: **CPU 312** i **CPU 315DP (Tabela 1)** nie posiadają możliwości bezpośredniego podłączenia do tych jednostek jakichkolwiek sygnałów wejścia/wyjścia, które by pochodziły lub były przeznaczone dla systemu mechatronicznego. Widać, zatem, że aby sterownik PLC typu modułowego stał się w pełni funkcjonalny, do modułu **CPU** należy dokonfigurować przynajmniej moduł zasilacza (najczęściej z lewej strony modułu CPU,

niewidoczny na rysunku 19a)) oraz po jednym module wejść oraz wyjść (jak na rysunku 19a)) lub moduł mieszany wejść/wyjść (tzw. dwa w jednym).

Jak już wspomniano wcześniej obecnie prawie wszystkie oferowane na rynku automatyki sterowniki typu kompaktowego mają możliwość rozbudowy swojej konfiguracji o dodatkowe moduły, oczywiście w liczbie modułów zdecydowanie mniejszej niż sterowniki typu modułowego. (Dla sterownika **CPU 224** liczba ta wynosi 7 – **Tabela 2**). Rysunek 20 ilustruje taki sterownik kompaktowy - **CPU 224**, do którego dokonfigurowano trzy dodatkowe moduły wejść/wyjść. (Pokazany przypadek jednoczesnej sygnalizacji wszystkimi diodami LED jest tylko demonstracyjnym).



Rysunek 10: Rozszerzona o dodatkowe moduły konfiguracja sterownika PLC typu kompaktowego: CPU 224

Inicjacja pracy i kontrola modułu CPU pierwszych sterowników PLC odbywała się za pośrednictwem tzw. paneli kontrolno-sterujących, które bez względu na typ sterownika były zintegrowane z panelem frontowym obudowy modułu CPU (w przypadku sterowników typu kompaktowego z frontem obudowy sterownika). Później, gdy nastąpił burzliwy rozwój systemów monitorujących pracę sterownika PLC w trybie bezpośrednim (ang. **ON-Line mode**), czyli bez zatrzymania wykonywania programu użytkownika (lub z pewnymi jego ograniczeniami), wprowadzono możliwość zdalnego uruchamiania modułu CPU za pośrednictwem połączeń przewodowych lub bezprzewodowych. Jednak we wszystkich tych przypadkach chodzi o uruchomienie oraz monitorowanie stanu pracy programu użytkownika, czyli *de facto* stanu pracy modułu **CPU**.

Rzeczywisty rozwój techniki mikroprocesorowej doprowadził do sytuacji, że za pośrednictwem odpowiedniego oprogramowania narzędziowego (lub diagnostycznego) mikroprocesor modułu **CPU** sterownika PLC może wygenerować olbrzymią liczbę komunikatów o stanie pracy modułu **CPU**, które poddane analizie dadzą aktualny obraz kontrolowanego systemu mechatronicznego, oczywiście obraz w postaci odpowiednich przyjętych znaków. Jednak należy podkreślić, że takie dane które pochodzą z takiej kontroli stanu pracy modułu **CPU** najczęściej analizowane są przez personel techniczny wyższego szczebla, lub wręcz przez projektantów systemów mechatronicznych, którzy odpowiednio przeszkoleni posiadają wiedzę do oceny zarówno prawidłowości jak również i nieprawidłowości w działaniu modułu **CPU**. Dla operatorów systemów mechatronicznych, którzy znajdują się lub pracują w bezpośrednim otoczeniu sterowników PLC przewidziano uproszczony dostęp do uruchamiania oraz kontroli pracy modułu **CPU** danego sterownika PLC.

Typowo panel kontrolno-sterujący każdego modułu **CPU** (bez względu na rodzaj sterownika PLC) wyposażony jest w przełącznik rodzaju pracy (ang. **Mode Selector**) oraz sygnalizację optyczną statusu pracy modułu (ang. **Status LED**).

Przykład modułu **CPU**, w którym możliwe jest bezpośrednie sterowanie ręczne podstawowymi trybami jego pracy oraz możliwe jest również optyczne jego diagnozowanie ilustruje rysunek 21.



*Rysunek 21: Górna część panelu frontowego modułu CPU 312 sterownika PLC rodziny SIMATIC S7 - 300 firmy Siemens*

Znaczenie poszczególnych funkcji, które są realizowane za pośrednictwem trzypozycyjnego przełącznika trybów pracy modułu CPU ilustruje **Tabela 3**, zaś opis diagnostyki za pomocą diod LED zawarto w **Tabeli 4**.

*Tabela 3: Funkcje realizowane za pośrednictwem trzypozycyjnego przełącznika trybów pracy modułu CPU 312 firmy Siemens*

Lp.	Pozycja przełącznika	Znaczenie wywołanej funkcji
	<b>RUN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tryb pracy <b>CPU</b>, w którym odbywa się realizacja programu użytkownika;</li> <li>▪ brak możliwości ładowania nowego programu (wymiana);</li> </ul>
	<b>STOP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tryb zatrzymania <b>CPU</b> – program użytkownika nie jest realizowany;</li> </ul>
	<b>MRES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ wymuszanie zerowania pamięci programu <b>CPU</b>.</li> </ul>

Tabela 4: Znaczenie sygnałów optycznych LED w czasie pracy modułu CPU

Wskaźnik LED	Kolor	Znaczenie
SF	Czerwona	LED zapalona - błąd programowy lub sprzętowy.
DC5V	Zielona	LED zapalona - obecność zasilania DC 5V dla modułu CPU i magistrali rozszerzającej
FRCE	Żółta	LED zapalona – aktywne forsowanie; LED migająca 2Hz – test pamięci Flash (jeżeli występuje)
RUN	Zielona	LED zapalona - CPU w trybie RUN; LED migająca 2Hz – start programu użytkownika; LED migająca 0.5Hz - stan HOLD;
STOP	Żółta	LED zapalona – CPU w trybie STOP, HOLD lub STARTUP; LED migająca 0.5Hz – żądanie CPU resetu pamięci; LED migająca 2Hz – wywołana funkcja resetu pamięci.

## 2. Moduły wejść

Funkcjonalność sterownika PLC jako głównego urządzenia układu sterowania systemami mechatronicznymi określić można poprzez m.in. sposób obsługi przez to urządzenie sygnałów, które z jednej strony generowane są w systemie mechatronicznym i traktowane przez sterownik PLC jako sygnały wejściowe (wsadowe) dla programu użytkownika, oraz z drugiej strony poprzez sposób sterowania urządzeniami systemu mechatronicznego za pośrednictwem sygnałów, które z kolei generuje program użytkowy sterownika PLC. Ponieważ znaczna część sterowników PLC może funkcjonować w układzie sterowania samoistnie, po ich zaprogramowaniu, to funkcjonalność sterownika PLC w powyższym ujęciu definicyjnym nie musi oznaczać komunikacji tego urządzenia z innym np. za pośrednictwem sieci LAN (ang. *Local Area Network*).

### DEFINICJA

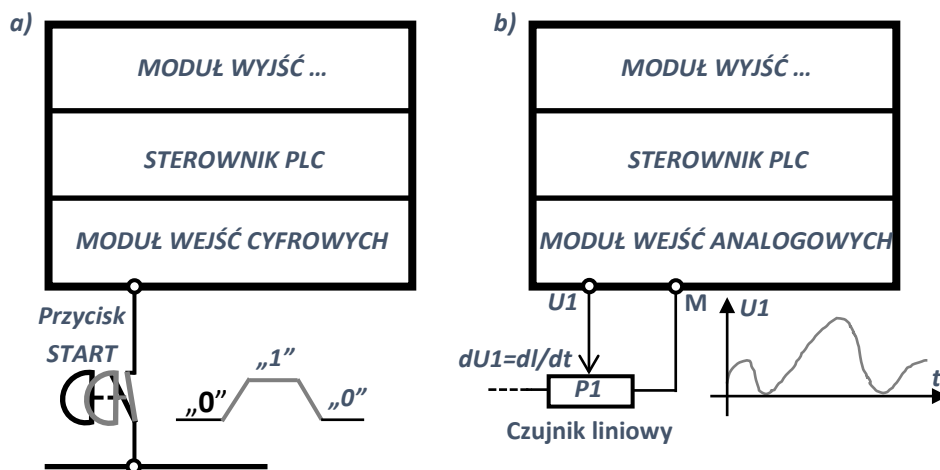
**[Sygnał wyjściowy systemu mechatronicznego** – sygnał generowany przez elementy systemu typu czujniki, krańcówki położenia, przyciski sterujące, tachometry, potencjometry obrotowe związane z poruszającymi się zespołami mechanicznymi, itp., który doprowadzany jest do zacisków modułu wejść sterownika PLC]

W grupie sygnałów wyjściowych, które generuje kontrolowany przez sterownik PLC system mechatroniczny wyróżnić można następujące dwie grupy sygnałów:

⇒ grupa sygnałów cyfrowych, często nazywanych dwustanowymi, w których informacja zawarta w sygnale należy do zbioru {0, 1} lub {fałsz, prawda}. Zamieniając to na język, który będzie „rozumiały” dla modułu wejść sterownika PLC, stan „0” ze zbioru {0,1} odpowiadał będzie braku istnienia napięcia lub prądu bez względu na jego postać (tzn. prąd stały czy zmienny), zaś stan „1” ze zbioru {0,1} odpowiadał będzie istnieniu określonej wartości napięcia lub prądu, oczywiście zgodnie z przyjętymi zakresami napięć lub prądów (również bez względu na jego postać, które będą traktowane jako sygnał wyjściowy systemu mechatronicznego. (Powyższe rozumowanie zarezerwowane jest dla tzw. logiki dodatniej).

⇒ grupa sygnałów analogowych, w których informacja zawarta w sygnale może przyjmować dowolną wartość z ciągłego przedziału  $\{-\infty, +\infty\}$ . I tutaj również, zamieniając powyższe na odpowiedni język, dana aktualna wartość napięcia lub prądu, dostarczona do modułu wejść sterownika PLC, zostaje w tym module poddana operacjom przetwarzania sygnału analogowego na cyfrowy tak, aby stanowiła dla programu użytkowego odpowiednią reprezentację cyfrową tego sygnału analogowego.

Rysunek 22 ilustruje przykłady dwóch postaci sygnałów, zaliczanych do dwóch wymienionych wyżej grup sygnałów wyjściowych systemu mechatronicznego, które wprowadzane są do modułu wejść sterownika PLC.



Rysunek 22: Przykłady sygnałów wyjściowych systemu mechatronicznego:  
a) sygnał cyfrowy pochodzący od przycisku; b) sygnał analogowy czujnika

Najczęściej dla wyżej podanych dwóch grup sygnałów wyjściowych systemu mechatronicznego, które mają, jak pokazano odrębną naturę, przewiduje się odrębne moduły wejść sterownika PLC, co oznacza, że dany moduł wejść przeznaczony jest do przyjęcia grupy sygnałów cyfrowych, zaś inny przeznaczony jest dla grupy sygnałów analogowych. Nie są spotykane rozwiązania modułów wejść jako pojedynczy moduł sterownika PLC, do których mogą być doprowadzone zarówno sygnały cyfrowe jak i analogowe.

Moduły wejść w przypadku sterowników PLC typu modułowego dołączane są do modułu CPU w ramach konfiguracji sterownika, natomiast w przypadku sterowników PLC typu kompaktowego, moduły te stanowią zintegrowany z modułem CPU zespół w ramach jednej obudowy.

Ze względu na rodzaj sygnału wyjściowego systemu mechatronicznego, który jak już wiadomo doprowadzany jest bezpośrednio lub pośrednio do zacisków modułu wejść sterownika PLC, rozróżniamy następujące dwa rodzaje modułów wejść:

- moduły wejść cyfrowych (dwustanowych) **DI** (ang. *Digital Input*);
- moduły wejść analogowych (ciągłych) **AI** (ang. *Analog Input*).

## 2.1. Moduły wejść cyfrowych DI

Przeznaczeniem modułu wejść cyfrowych **DI** jest przyjęcie grupy sygnałów cyfrowych (najczęściej w liczbie będącej wielokrotnością 1 Bajtu, czyli 8-miu bitów), pochodzących z kontrolowanego systemu mechatronicznego. Sygnały te doprowadzane są najczęściej bezpośrednio za pomocą przewodów elektrycznych o odpowiednim przekroju (np. linka LGY 1x1.5mm<sup>2</sup>) do zacisków wejściowych modułu.

Rozwój systemów mechatronicznych, a co za tym idzie i oczujnikowania pracujących maszyn i urządzeń takich jak siłowniki pneumatyczne i hydrauliczne, systemy linii produkujących różne wyroby, itp., doprowadził do występowania w układzie sterowania opartym na sterowniku PLC różnych standardów sygnałów elektrycznych, które musiały zostać wprowadzane do modułu wejść **DI** jako sygnały cyfrowe. To narzuciło na producentów sterowników PLC dostosowanie modułów wejść do istniejących lub pojawiających się stopniowo nowych standardów napięciowo/prądowych sygnałów. Obecnie najczęściej sygnał cyfrowy, dostarczony do modułu wejść „kryje” się pod postacią napięcia o wartościach DC 12V lub 24V, AC 110V lub 230V oraz prądu DC 4mA lub 20mA.

Bezpośrednie wprowadzanie napięcia lub prądu o określonej postaci i wartości do poszczególnych zacisków modułu wejść niesie zawsze ryzyko uszkodzenia danego pojedynczego wejścia modułu wejść. Spowodowane jest to tym, że sygnał taki ma swoje źródło we fragmencie kontrolowanego systemu mechatronicznego i na skutek zazwyczaj przypadkowości może się zdarzyć, że taki sygnał wyjściowy w krótkiej chwili może nie odpowiadać standardowi sygnału, dla którego przewidziano moduł wejść sterownika PLC. Na przykład na skutek niezamierzonego uszkodzenia czujnika indukcyjnego, który wysyłał do „swojego” wejścia modułu wejść **DI** dla stanu „1” przewidziany sygnał cyfrowy o wartości DC 12V, dostarczył sygnał o wyższej wartości wynoszącej DC 24V, co było nieprawidłowe i niedopuszczalne. Gdyby to poszczególne wejście w module wejść nie było odpowiednio „skonstruowane” elektronicznie, nastąpiłoby definitywne uszkodzenie tzw. stopnia wejściowego tego pojedynczego wejścia i najprawdopodobniej konieczność wymiany całego modułu wejść sterownika typu modułowego lub nawet wymianę całego sterownika PLC typu kompaktowego.

Aby zminimalizować wpływ pojawienia się sygnału cyfrowego o niewłaściwych parametrach nawet na pojedynczym wejściu modułu wejść **DI**, poszczególne stopnie wejściowe każdego wejścia zostały odseparowane galwanicznie od dalszej części elektronicznej modułu wejść sterownika PLC.

### DEFINICJA

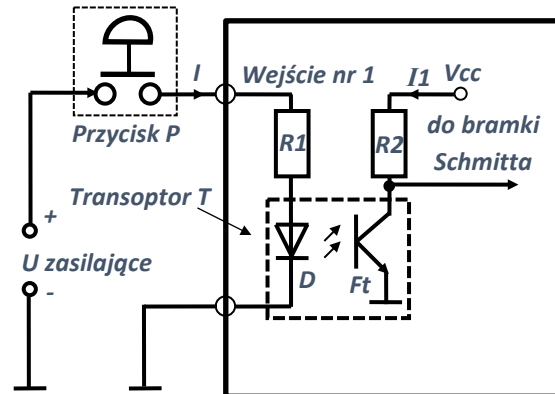
*[Separacja galwaniczna – rodzaj izolacji między dwoma obwodami układu elektronicznego tak, aby prąd elektryczny nie przepływał bezpośrednio z jednego obwodu do drugiego]*

W celu zapewnienia separacji galwanicznej między pojedynczym obwodem elektronicznym danego wejścia modułu wejść **DI** stosuje się układy optoelektroniczne - tzw. transoptory.

## DEFINICJA

[**Transoptor** – półprzewodnikowy element optoelektroniczny składający się z jednej fotodiody i co najmniej jednego fotodetektora, które to elementy umieszczone są zazwyczaj we wspólnej obudowie]

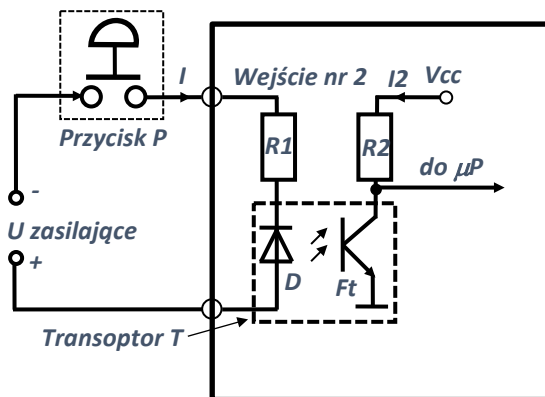
Wykorzystanie transoptora do separacji galwanicznej sygnału cyfrowego stałoprądowego (wprowadzonego do pojedynczego wejścia modułu wejść **DI**) od części elektronicznej, związanej z dalszą obróbką tego sygnału ilustruje schematycznie rysunek 23.



Rysunek 23: Wykorzystanie transoptora do separacji galwanicznej sygnału cyfrowego stałoprądowego

Po zamknięciu obwodu elektrycznego przy pomocy zestyku roboczego przycisku **P** (Przycisk P=ON), płynący prąd **I** spowoduje wysterowanie diody **D** transoptora **T**. Dioda ta pod wpływem płynącego prądu wyemituje promieniowanie elektromagnetyczne o odpowiedniej długości fali  $\lambda$ , które dopłynie do bazy fototranzystora **Ft** polaryzując go w kierunku przewodzenia. Przechodzenie fototranzystora **Ft** ze stanu nieprzewodzenia do stanu przewodzenia na skutek odpowiednio niedziałania/działania diody **D**, wywołuje dwustanową zmianę wartości sygnału elektrycznego o dwóch poziomach napięć, ustalonych za pośrednictwem napięcia **Vcc** i rezystora **R2**. Sygnał ten, oczywiście umownie ze zbioru {0,1} dostarczany jest dalej do układu kształtującego, opartego najczęściej na bramce Schmitta, i w konsekwencji „wędruje” do rejestru związanego z modułem wejść cyfrowych, czyli do zespołu komórek pamięci, który odczytywany jest za każdym razem przez mikroprocesor modułu **CPU** w czasie realizacji tzw. pojedynczego cyklu programowego (ang. *One scan cycle*) sterownika PLC. Pokazany na rysunku 23 przykład użycia transoptora **T** zasygnalizował konstrukcyjnie pierwszy i najczęściej spotykany typ stopnia wejściowego modułu wejść cyfrowych – stopień wejściowy typu ujęcie (ang. *sink in*). Stopień wejściowy typu ujęcie charakteryzuje się tym, że wszystkie katody transoptorów **T** (lub określona ich liczba z podziałem na grupy wejść cyfrowych) spolaryzowane są ujemnie (jak na rysunku 23), zaś do poszczególnych zacisków modułu, które określają pojedyncze wejścia cyfrowe (tzn. anody transoptorów **T**), doprowadzone są sygnały wyjściowe systemu mechatronicznego o polaryzacji dodatniej (również tak jak na rysunku 23).

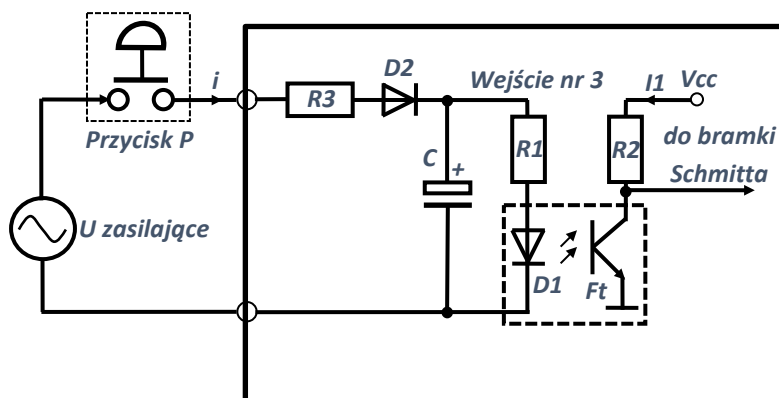
Przeciwstawnym do stopnia wejściowego typu ujęcie jest stopień wejściowy typu źródło (ang. *source in*). W tym z kolei rozwiązaniu wszystkie anody transoptorów **T** (lub określona ich liczba podzielona na grupy wejść cyfrowych) spolaryzowane są dodatnio, zaś do poszczególnych zacisków modułu, które określają pojedyncze wejścia cyfrowe (tzn. katody transoptorów **T**), doprowadzone są sygnały wyjściowe systemu mechatronicznego o polaryzacji ujemnej. Rysunek 24 ilustruje schematyczne rozwiązanie stopnia wejściowego typu źródło.



Rysunek 24: schematyczne rozwiązanie stopnia wejściowego typu źródło w module wejść cyfrowych

Pokazane na rysunkach 23 i 24 schematyczne rozwiązania pojedynczych wejść cyfrowych modułu **DI**, aczkolwiek bardzo uproszczone, przeznaczone są odczytywania stanu sygnałów stałoprądowych, które generowane są przez system mechatroniczny. Widać to wyraźnie na podstawie charakteru źródła **U zasilające**, które dostarcza napięcia stałego do elementu typu przycisk **P**. (Na rysunku 23 biegun dodatni podłączony jest do pierwszego zacisku przycisku **P**, zaś biegun ujemny polaryzuje katodę diody **D** transoptora **T**).

Wiadomo, że prąd i napięcie ogólnie zmienne, posiada inny charakter niż prąd i napięcie stałe. Zatem układy elektroniczne w stopniach wejściowych modułów **DI**, zarówno typu ujęcie jak i typu źródło, do których dostarczane są sygnały rozumiane jako cyfrowe, ale zmiennoprądowe, muszą zawierać dodatkowe elementy elektroniczne, np. diody i kondensatory. Elementy te prostują oraz wygładzają przebiegi takich sygnałów, by dostosować parametry sygnałów zmiennoprądowych do parametrów, które mogą być akceptowalne przez pozostałą część układu elektronicznego stopnia wejściowego modułu **DI**. Schematyczne rozwiązanie stopnia wejściowego typu ujęcie dla sygnału zmiennoprądowego w module wejść cyfrowych ilustruje rysunek 25.



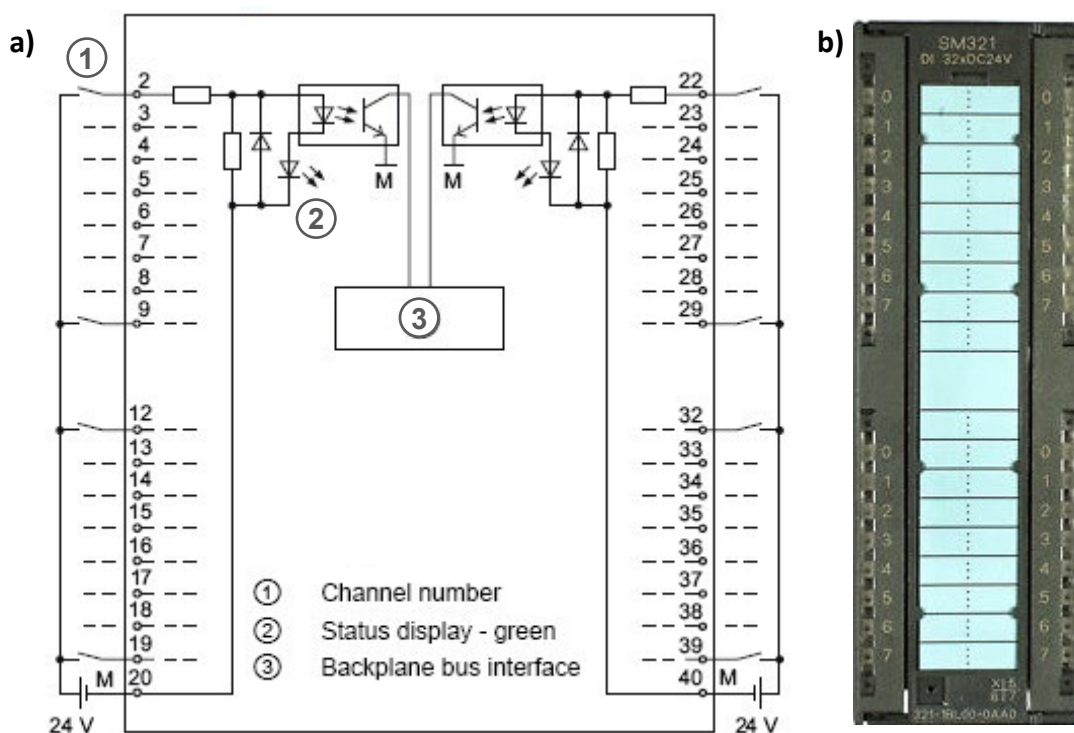
Rysunek 25: Stopień wejściowy typu ujęcie dla sygnału zmiennoprądowego: **D2** – dioda prostownicza; **C** – kondensator elektrolityczny



Należy nadmienić, co jest oczywiste, że system mechatroniczny, w zależności od jego złożoności, czyli np. liczby użytych czujników, przycisków sterujących, krańcówek położenia, itp., może generować określoną liczbę sygnałów cyfrowych, które muszą być doprowadzone do modułów wejść **DI** sterownika PLC. Na takie liczbowe kryterium sygnałów cyfrowych musi odpowiadać konfiguracja sterownika PLC, czyli moduły **DI** sterownika.

Rozwój techniki wytwarzania sterowników PLC, zwłaszcza typu modułowego, doprowadził do istnienia na rynku tych urządzeń takich modułów **DI**, których konstrukcja pozwala na obsługę liczby sygnałów cyfrowych, będącej wielokrotnością 1Bajtu. (Wśród sterowników typu **Compact PLC** spotykana jest nawet liczba wejść cyfrowych mniejsza niż 8). Z jednej strony posiada to swoje (historyczne) uzasadnienie z racji tego, że główny moduł pierwszych sterowników cyfrowych, które były rozumiane jako sterowniki PLC, był oparty na układzie mikroprocesora 8-mio bitowego. Z drugiej strony, jeżeli mowa o sterowaniu z wykorzystaniem sterownika PLC, zwłaszcza typu modułowego, to rzadko może wystąpić sytuacja, gdzie kontrolowany system mechatroniczny generować powinien mniejszą od 8-miu liczbę sygnałów cyfrowych, które zostaną jak wiadomo doprowadzone do modułu **DI** sterownika PLC. Zatem przyjęć należy, że pojedynczy moduł wejść cyfrowych, zarówno typu ujęcie jak i źródło, zawiera w zależności od potrzeb systemu mechatronicznego 8,16 lub 32 zaciski wejściowe do podłączenia sygnałów cyfrowych. W przypadku sterowników typu wyłącznie kompaktowego, czyli bez możliwości dołączania dodatkowych modułów, powyższa elastyczność w doborze liczby sygnałów cyfrowych do ich obsługi przez moduł CPU nie może być zachowana. Projektant układu sterowania w oparciu o taki sterownik musi posługiwać się liczbą wejść cyfrowych, rozciągającą się od 6-ciu, i dalej poprzez 8, 12, 14, itd. Oczywiście, zwiększenie liczby wejść cyfrowych takiego sterownika pociąga za sobą wymianę sterownika na inny.

Rysunek 26 ilustruje przykład modułu wejść cyfrowych o oznaczeniu SM321 z rodziny sterowników SIMATIC S7 firmy Siemens, który zawiera 32 stopnie wejściowe typu ujęcie.



Rysunek 26: Moduły wejść cyfrowych SM321 z rodziny sterowników SIMATIC S7 firmy Siemens:  
a) schemat elektryczny modułu; b) widok panelu sygnalizacyjno-przyłączeniowego modułu

Rysunek 26a) instruuje sposób podłączenia zestyków roboczych elementów systemu mechatronicznego, które generują sygnał cyfrowy. Widać, że stopnie wejściowe oznaczone na rysunku jako 1 („w kółku”), w liczbie 32 pogrupowano w cztery grupy po osiem wejść o numerach: 2÷9, 12÷20, 22÷29 oraz 32÷40. Z każdym takim pojedynczym wejściem związany jest sygnalizator LED (o oznaczeniu 2 „w kółku”), który określa status sygnału cyfrowego: zapali się na zielono tylko wtedy, kiedy na poszczególnym wejściu pojawi się stabilny stan sygnału, określający zadziałanie danego czujnika, przycisku czy krańcówki kontrolowanego systemu mechatronicznego. Oczywiście powyższe jest możliwe tylko wtedy, gdy moduł SM321 zostanie prawidłowo zasilony napięciem DC 24V, podanym do właściwych zacisków modułu. Stany poszczególnych wejść cyfrowych modułu przekazywane są do magistrali 3 („w kółku”), która doprowadza sygnały do modułu **CPU** sterownika PLC. Rysunek 26b) ilustruje panel frontowy modułu SM321, w którym po odchyleniu na bok zewnętrznych pokryw uzyskuje się dostęp do zacisków przyłączeniowych wszystkich sygnałów, widocznych na rysunku 26a).

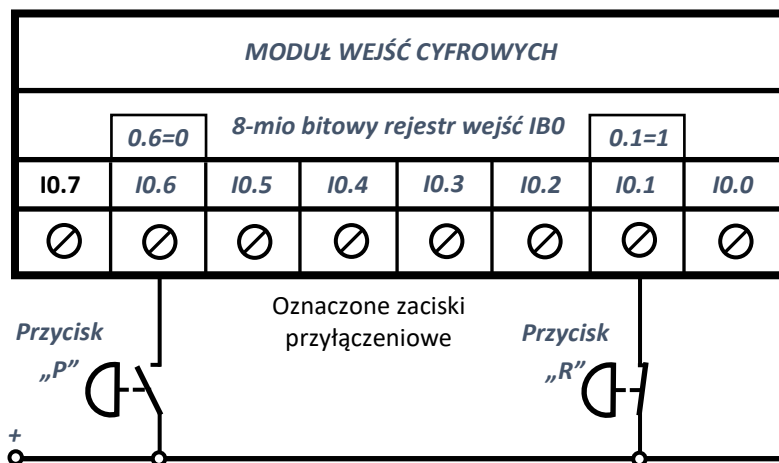
**Tabela 5** zawiera wybrane parametry techniczne modułu SM321 w wersji wykonania jak na rysunku 26.

*Tabela 5: Wybrane parametry techniczne modułu SM321 rodziny SIMATIC S7 firmy Siemens*

Parametr	Wartość
▪ Liczba wejść cyfrowych	<b>32</b> (typu <i>sink in</i> )
▪ Długość przewodów ekranowanych łączących wejście z obiektem	<b>1000m</b>
▪ Długość przewodów nieekranowanych łączących wejście z obiektem	<b>600m</b>
▪ Napięcie zasilania modułu	<b>24V DC</b>
▪ Izolacja galwaniczna wejść	<b>TAK</b>
▪ Pobór mocy przez moduł	<b>6,5W</b>
▪ Kontrola zadziałania wejścia	<b>LED</b> (zielony)
▪ Przedział napięcie wejścia sygnału cyfrowego dla interpretacji „1”	<b>13 do 30V DC</b>
▪ Przedział napięcie wejścia sygnału cyfrowego dla interpretacji „0”	<b>-3 do 5V DC</b>
▪ Pobór prądu przez jedno wejście przy stanie sygnału dla „1”	<b>7mA</b>
▪ Czas trwania impulsu na wejściu przy zmianie sygnału z „0” na „1”	<b>1,2 do 4,8 ms</b>
▪ Czas trwania impulsu na wejściu przy zmianie sygnału z „1” na „0”	<b>1,2 do 4,8 ms</b>
▪ Charakterystyka wykonania modułu wg normy	<b>IEC 1131</b> (EN 61131)
▪ Wymiary: Szerokość x głębokość x wysokość [mm]	<b>40 x 125 x 120</b>
▪ Waga [kg]	<b>0,260</b>

Określony asortyment dostępnych na runku automatyki modułów wejść cyfrowych jest ściśle związany z danym typem modułu **CPU** oraz określonym producentem sterownika PLC. O tym należy pamiętać dokonując wyboru katalogowego określonego modułu **DI** dla sygnałów cyfrowych, pochodzących z systemu mechatronicznego.

W sterownikach typu kompaktowego, w których jak wiadomo nie wyróżnia się jawnie jakichkolwiek modułów tego urządzenia, (gdyż są one wbudowane na stałe w obudowę urządzenia), tzw. rejestr wejść (tutaj rejestr dla wejść cyfrowych) jest zawsze widoczny przez mikroprocesor modułu **CPU** jako konkretna oraz niezmienna tzw. przestrzeń adresowa. Ustalone na stałe umiejscowienie w sterowniku kompaktowym zacisków do podłączenia sygnałów cyfrowych z systemu mechatronicznego skutkuje ustalonymi na stałe i odpowiednio oznaczonymi przez producenta takiego sterownika adresami w rejestrze dla tych wejść cyfrowych. Ilustruje to rysunek 27.



Rysunek 27: Ilustracja powiązania adresów fizycznych sterownika kompaktowego z adresami wirtualnymi w rejestrze wejść o oznaczeniu IBO

Na rysunku 27 z modułem 8-miu wejść cyfrowych o oznaczeniach od **10.0** do **10.7** powiązany jest 8-mio bitowy rejestr wejść **IBO**, do którego wpisywana jest informacja zero-jedynkowa, będąca rezultatem braku lub pojawieniu się sygnału cyfrowego na poszczególnym wejściu modułu. Wyjaśniając: niepobudzony przycisk „R” wpisał stan „1” do bitu (komórki) o oznaczeniu **0.1**, ponieważ zestyk tego przycisku został zwarty i dzięki temu sygnał cyfrowy w postaci napięcia został doprowadzony do wejścia modułu o oznaczeniu **10.1**. Pobudzenie zaś przycisku „R” spowoduje natychmiastową zmianę stanu komórki **0.1** na stan „0”, ponieważ nastąpi przerwanie obwodu elektrycznego poprzez przełączenie zestyku tego przycisku i wtedy brak dostarczania napięcia do wejścia **10.1**. Z kolei brak pobudzenia innego przycisku - „P” (**10.6**) poskutkowało wpisaniem stanu „0” do komórki o oznaczeniu **0.6** rejestru wejść. Taki stan będzie się utrzymywał do momentu pobudzenia przycisku „P”. Gdy to nastąpi będzie miało miejsce przełączenie zestyku tego przycisku, podanie napięcia do wejścia **10.6** i stan tej komórki **0.6** zmieni się na „1”. Stany pozostałych sześciu komórek rejestru **IBO** wynoszą „0”, ponieważ do pozostałych sześciu wejść modułu nie są doprowadzone sygnały cyfrowe, czyli określony poziom napięcia. Jednak takiej sytuacji jak na rysunku 17, tj. braku podłączenia sygnałów, czyli wykorzystania wszystkich wejść modułu **DI** należy unikać. W praktyce do niewykorzystanych wejść modułu **DI** podaje się niski poziom napięcia. Zaprezentowany na rysunku 27 sposób organizacji tzw. przestrzeni adresowej, który obowiązuje dla sterowników PLC typu kompaktowego, zazwyczaj przedstawia się nieco inaczej w przypadku sterowników typu modułowego. Jest to uwarunkowane tym, że w sterownikach tego typu określony moduł, np. **DI** może mieć indywidualne za każdym razem położenie fizyczne na magistrali połączeniowej. Czyli w przykładowej konfiguracji sterownika modułowego oznaczonej jako „A”, moduł **DI** umieszczony został jako drugi licząc od modułu **CPU**, zaś w innej przykładowej konfiguracji moduł **DI** umieszczony został jako trzeci licząc od modułu

**CPU.** (Rozmieszczanie na magistrali według indywidualnych uwarunkowań nie dotyczy modułów **CPU**, bowiem to do nich dokonfigurowywane są pozostałe moduły sterownika, nie zaś nie odwrotnie). Taka cecha konfiguracji, niezmienna, gdyż narzucona przez danego producenta modułów dla sterownika typu modułowego wymusza tzw. dynamiczne przydzielanie przez system operacyjny sterownika przestrzeni adresowej dla danego dołączonego modułu **DI**. Zatem może się zdarzyć, że identyczny program użytkownika, utworzony dla identycznego sterownika modułowego PLC będzie się różnił wykorzystaniem w programie użytkowym różnych przestrzeni adresowych dla realizacji działań układu sterowania. Oczywiście, pominięcie tego „szczegółu” skutkuje brakiem realizacji właściwego sterowania systemem mechatronicznym. Dlatego też przy realizacji czynności naprawczych lub rekonfiguracyjnych sterownika PLC typu modułowego, należy w tych samych miejscach fizycznych umieścić podmienione moduły dla zachowania pierwotnej konfiguracji sterownika, pomimo że technicznie wszystkie moduły takiego sterownika można umieścić w dowolnych miejscach magistrali. Bez względu na rodzaj sterownika PLC, tzn. typu *Compact PLC* czy *Module PLC* rozmieszczenie rejestrów dla wejść cyfrowych modułu lub modułów **DI** w tzw. przestrzeni adresowej mikroprocesora modułu **CPU** jest zrealizowane na podobnej zasadzie.

## DEFINICJA

*[Przeźreń adresowa dla wejść sterownika PLC – mapa rejestrów związanych z wejściami urządzenia, które mogą być zaadresowane przez mikroprocesor modułu CPU celem odczytania z nich informacji o stanie poszczególnych wejść]*

Dla wyjaśnienia sposobu rozmieszczenia rejestrów dla wejść cyfrowych modułu **DI** można się posłużyć analogią do konstrukcji komody z ponumerowanymi szufladami, które z kolei posiadają ponumerowane przegródki. Liczba szuflad tej wirtualnej komody uzależniona jest od parametrów technicznych mikroprocesora, który został użyty jako serce modułu CPU, zaś liczba przegródek w każdej szufladzie jest wielokrotnością 1Bajtu, czyli liczby 8. Przy takiej organizacji wirtualnej komody, która zawiera i szuflady, i przegródki pojedynczy adres komórki rejestru tworzony jest przy użyciu numeracji, która odnosi się zarówno do szuflady jak i do przegródki. Organizację przestrzeni adresowej dla rejestrów związanych z modułami **DI** sterownika PLC ilustruje **Tabela 6**.

*Tabela 6: Organizacja przestrzeni adresowej dla rejestrów związanych z modułami DI*

Numer bitu w rejestrze IB dla wejść modułu DI								Numer rejestru dla wejść cyfrowych	
7	6	5	4	3	2	1	0		
I0.7	I0.6	I0.5	I0.4	I0.3	I0.2	I0.1	I0.0		IB0
I1.7	I1.6	I1.5	I1.4	I1.3	I1.2	I1.1	I1.0		IB1
I2.7	I2.6	I2.5	I2.4	I2.3	I2.2	I2.1	I2.0		IB2
...								...	
In.7	In.6	In.5	In.4	In.3	In.2	In.1	In.0	IBn	

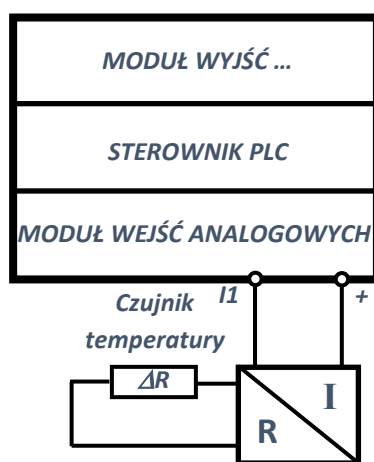
Odnosząc powyższe do wskazanego na rysunku 16 modułu wejść cyfrowych, który umożliwia podłączenie liczby aż 32 sygnałów, które pochodzą od czujników, przycisków, krańcówek, itp. systemu mechatronicznego, oraz przyjmując, że moduł ten w konfiguracji sterownika modułowego wystąpił by „tuż” za modułem CPU, informacja o stanie tych 32 sygnałów wpisana by została do czterech kolejnych rejestrów dla wejść o organizacji bajtowej, czyli **IB0, IB1, IB2** oraz **IB3**.

## 2.2. Moduły wejść analogowych AI

Przeznaczeniem modułu wejść analogowych **AI** jest odbiór odpowiedniej liczby sygnałów analogowych, które zostały doprowadzone do zacisków wejściowych modułu oraz ich przetworzenie na postać cyfrową, która może być zapisana w rejestrze dla wejść analogowych, i która da informację o wartości tego sygnału analogowego dla programu użytkowego, co jak wiadomo realizuje mikroprocesor modułu **CPU**.

Obecnie najczęściej sygnał analogowy, który dostarczony jest do modułów wejść analogowych **AI** w większości sterowników PLC kryje się pod postacią odpowiedniej wartości napięcia DC z przedziałów:  $0\div 10V$ ,  $-5\div +5V$  oraz  $-10\div +10V$ , jak również pod postacią odpowiedniej wartości prądu DC z przedziałów:  $4\div 20mA$  oraz  $0\div 20mA$ .

Należy nadmienić, że podane wyżej rodzaje oraz zakresy sygnałów analogowych, które są obsługiwane przez moduły **AI** sterowników PLC są zazwyczaj tzw. sygnałami wtórnymi, pochodzącymi ze wszelkiego rodzaju przetworników elektrycznych lub ogólnie, przetworników, w których sygnałem wtórnym jest sygnał elektryczny. Przetworniki takie przetwarzają ten sygnał pierwotny na sygnał wtórny (tutaj analogowy) właśnie dla modułu **AI**. Układy te są zatem włączane do obwodu elektrycznego, związanego z danym wejściem analogowym pomiędzy dany czujnik procesu (o sygnale wyjściowym analogowym) a zacisk danego wejścia analogowego modułu **AI**. Pokazano to na rysunku 28.

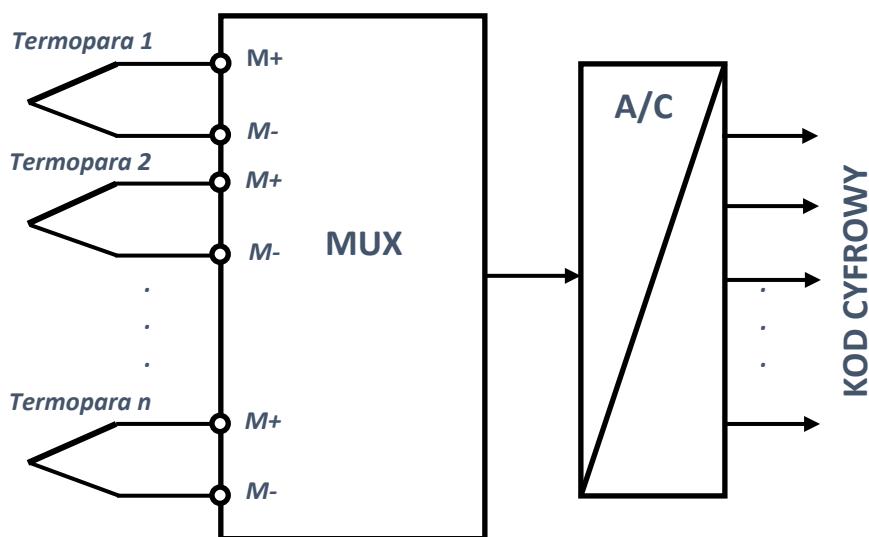


*Rysunek 28: Podłączenie czujnika temperatury do modułu AI za pośrednictwem przetwornika R/I*

Na rysunku 28 wykorzystano przetwornik **R/I** (rezystancja – prąd) o instalacji dwuprzewodowej. „Po stronie” **R** występuje czujnik temperatury, np. **PT100**, zaś strona **I** podłączona jest do odpowiednich zacisków modułu **AI** sterownika PLC. W przypadku transmisji sygnału analogowego na duże odległości powinno się stosować instalację trzy a nawet czteroprzewodową po każdej „stronie” przetwornika jak na rysunku 28.

Używanie odpowiedniego rodzaju przetwornika sygnału pierwotnego na sygnał analogowy (elektryczny) stało się konieczne wówczas, gdy na skutek rozwoju systemów mechatronicznych należało kontrolować dużą liczbę sygnałów nieelektrycznych, czyli sygnałów, których postać nie może być bezpośrednio wprowadzona do modułu **AI** sterownika PLC. Sygnały nieelektryczne, o których mowa to m.in. przesunięcie liniowe i kątowe, ciśnienie czynnika roboczego, prędkość obrotowa i liniowa mechanizmów, temperatura cieczy chłodzącej, naprężenia mechaniczne w mechanizmach wykonawczych, itp. Należy jednak wspomnieć, że istnieją również takie moduły **AI** sterowników PLC, do których można bezpośrednio podłączyć sygnał pierwotny nieelektryczny lub elektryczny. (Taką możliwość zasygnalizowano już na rysunku 22b). Można się domyśleć, że moduły takie zawierają w sobie wbudowane układy przetworników sygnałów pierwotnych na wtórne, przeznaczone dla programu użytkowego sterownika. Jednak w takim przypadku odległość czujnika, który dostarcza taki sygnał od zacisku modułu **AI** nie może być zbyt znaczna. Najczęściej takie przypadki przeznaczone są dla sterowników PLC, które znajdują się w pobliżu kontrolowanej maszyny lub systemu mechatronicznego.

O ile dostosowanie sygnału cyfrowego, o czym była mowa w poprzednim podrozdziale książki nie stanowi dla układów wejściowych modułu **DI** trudnego „zadania” (patrz rysunki 23÷25), to układy wejściowe modułów **AI** są o wiele bardziej złożone elektronicznie. Związane jest to z czekającym ich zadaniem zamiany sygnału analogowego o różnej postaci na sygnał wyłącznie cyfrowy, gdyż tylko w technice zero-jedynkowej mikroprocesor modułu **CPU** wykonuje swoje operacje na sygnałach. Schematyczne uproszczone rozwiązanie modułu **AI** dla czujników, które bezpośrednio dostarczają sygnału pierwotnego do poszczególnych wejść analogowych modułu ilustruje rysunek 29.



Rysunek 29: Schemat rozwiązania modułu AI dla obsługi sygnałów analogowych

Układ kombinacyjny na wejściu modułu **AI** – multiplekser **MUX** spełnia zadanie selekcjonera poszczególnych sygnałów analogowych z termopar od 1 do n. Oznacza to, że do przetwornika analogowo-cyfrowego **A/C**, który jest następnym w kolejności układem modułu **AI**, doprowadzony jest za każdym razem sygnał analogowy wyłącznie z wybranego pojedynczego wejścia analogowego. Takiej selekcji dokonuje układ sterowania multipleksera **MUX**. Wyjściem przetwornika **A/C** jest kod cyfrowy, który jest wynikiem pomiaru sygnału wejściowego na pojedynczym wejściu modułu **AI**.

Zamiana sygnału analogowego na cyfrowy, zasygnalizowana na rysunku 29 a dokonywana w przetworniku **A/C**, związana jest z trzema następującymi podstawowymi operacjami na każdym sygnale analogowym, które musi zrealizować układ wejściowy w module **AI**. Są to operacje próbkowania, kwantowania oraz kodowania.

#### DEFINICJA

*[Próbkowanie – proces tworzenia sygnału dyskretnego, reprezentującego sygnał analogowy za pomocą ciągu wartości nazywanych próbkami. Próbkowanie jest pierwszym etapem przetwarzania sygnału analogowego na sygnał cyfrowy]*

#### DEFINICJA

*[Kwantowanie - odwzorowanie otrzymanej próbki w przedziale liczbowym, stanowiącym poziom reprezentacji tej próbki]*

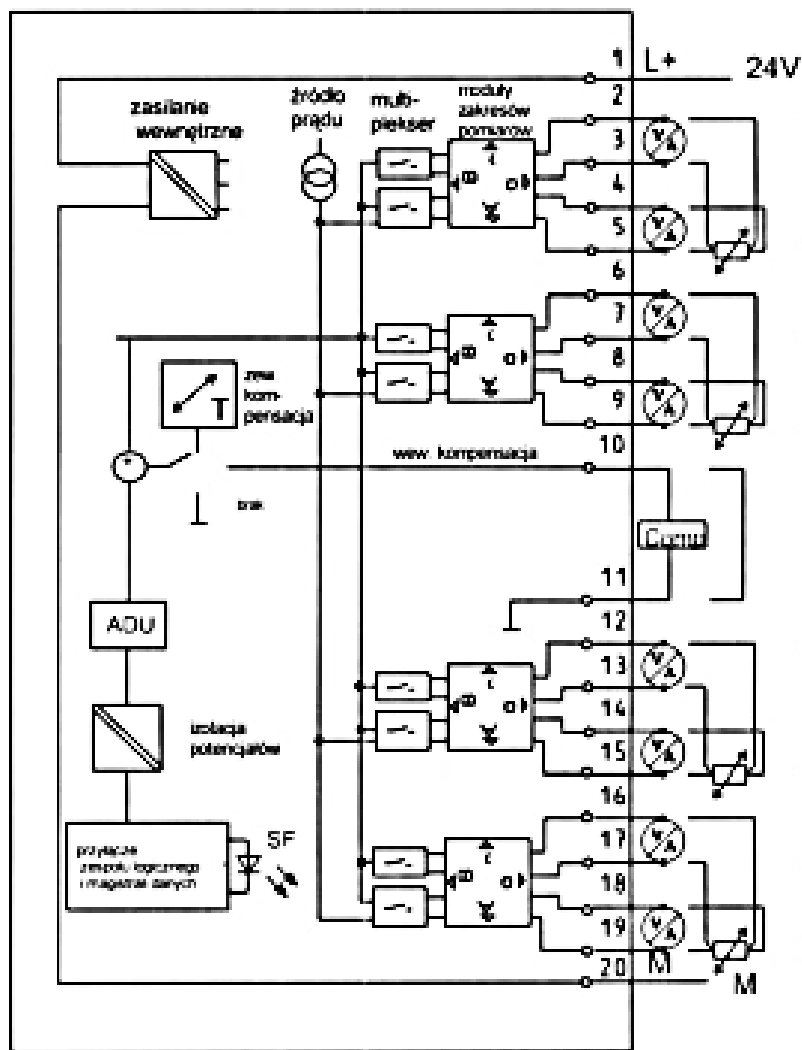
#### DEFINICJA

*[Kodowanie – przyporządkowanie do uzyskanego poziomu reprezentacji kodu cyfrowego dla reprezentacji sygnału w rejestrze (pamięci) lub programie]*

Tabela 7 oraz rysunek 30 ilustrują odpowiednio wybrane właściwości oraz strukturę wewnętrzną modułu wejść analogowych **AI** o oznaczeniu **SM331** z rodziny sterowników SIMATIC S7 firmy Siemens.

*Tabela 7: Wybrane cechy modułu wejść analogowych AI o oznaczeniu SM331*

WŁAŚCIWOŚĆ MODUŁU
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 8 wejść w 4 kanałowych grupach</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rozdzielczość wartości pomiarowych:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– 9 bitów + znak</li> <li>– 12 bitów + znak</li> <li>– 14 bitów + znak</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ metoda pomiaru wybierany dla grupy kanałów:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– napięcie</li> <li>– prąd</li> <li>– rezystancja</li> <li>– temperatura</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dowolny wybór zakresu pomiarowego dla grupy kanałów</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ programowalna diagnostyka</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ izolacja galwaniczna od CPU</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ izolacja galwaniczna od napięcia obciążenia</li> </ul>



Rysunek 30: Struktura wewnętrzna modułu SM331

O ile w przypadku podłączenia sygnałów cyfrowych do modułu DI należy głównie zadbać o to, aby sygnał cyfrowy dla zera logicznego i dla jedynki logicznej mieścił się w ustalonych dla danego wejścia cyfrowego granicach (oczywiście nie wyłączając prawidłowego montażu elektrycznego przewodu między czujnikiem a zaciskami modułu **DI**), o tyle podłączanie sygnałów analogowych do modułów **AI** jest bardziej złożone.

Dla sygnałów analogowych, w celu zmniejszenia zakłóceń elektrycznych, które mogą oddziaływać na prowadzone w obrębie systemu mechatronicznego przewody sygnałowe, powinny stosować się tzw. ekranowane przewody elektryczne o odpowiednim przekroju, które są skręcone parami. Ekran takiej „skrętki” powinien być podłączony do uziemienia na obu jej końcach. Na wypadek możliwości wytworzenia się różnicy potencjałów pomiędzy końcówkami przewodów należy uziemić ekran skrętki tylko na jej jednym końcu.

Już powyższe pokazuje, że podłączając sygnały analogowe do zacisków modułu **AI** należy trzymać się określonych zasad, które zapewnią prawidłowy odbiór sygnału analogowego przez program użytkowy sterownika PLC. Zważywszy na dużą uniwersalność w możliwości podłączenia do danego modułu **AI** różnych czujników analogowych lub przetworników różnych wielkości na sygnał analogowy, niejednokrotnie prawidłowa instalacja elektryczna na styku czujnik – wejście analogowe modułu **AI** musi być poprzedzona dokładnymi wskazówkami producenta danego czujnika czy przetwornika odnośnie jego aplikacji.



### 3. Moduły wyjść

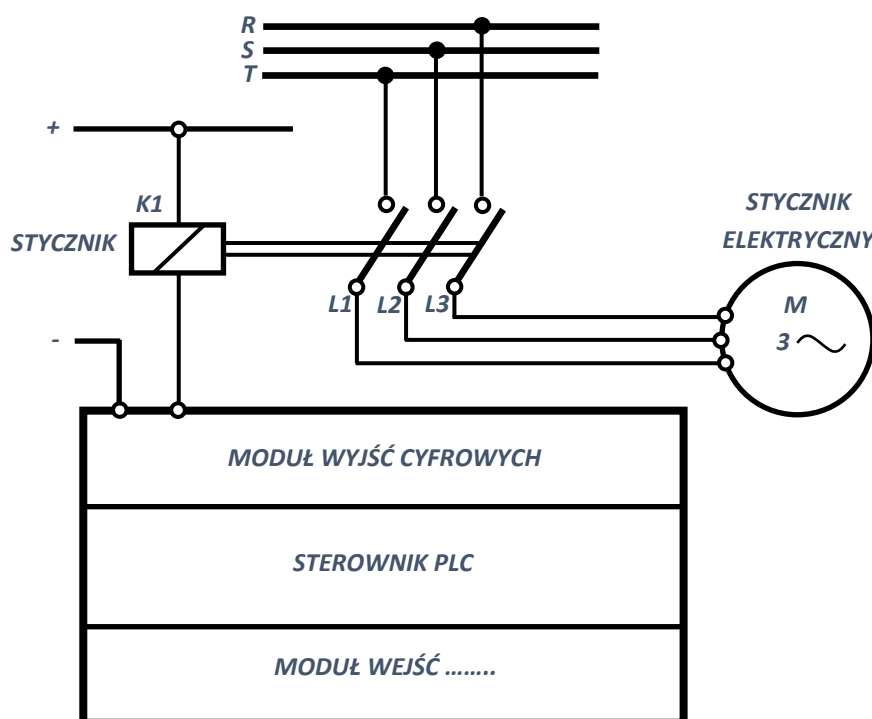
Moduły wyjść służą do dostarczania układom i urządzeniom systemu mechatronicznego, takim jak siłowniki pneumatyczne, silniki elektryczne, itp. sygnałów sterujących do ich chwilowego lub ciągłego uruchomienia. Wymienione urządzenia są elementami reagującymi na tzw. sygnał wejściowy systemu mechatronicznego.

#### DEFINICJA

[**Sygnaly wejściowe systemu mechatronicznego** – sygnały doprowadzone do układów i urządzeń systemu mechatronicznego, które służą do uruchamiania urządzeń realizujących sterowanie w takim systemie mechatronicznym]

W przeważającej większości przypadków dane wyjście modułu steruje układem lub urządzeniem systemu mechatronicznego w sposób pośredni, tj. z wykorzystaniem układu wzmacniającego sygnał z moduły wyjść. Jest to konieczne, ponieważ z racji technologii wykonania sterowników PLC, która jak wiadomo opiera się na układach elektronicznych, przez układy generujące sygnał w module wyjść mogą płynąć tylko niewielkie prądy użytkowe w stosunku do prądów koniecznych doysterowania układów lub urządzeń. Na przykład typową wartością dla pojedynczego wyjścia tranzystorowego w module wyjść, które może załączać układ lub urządzenie jest prąd DC o wartości 0.5A przy napięciu DC 24V.

Najczęściej jako elementy elektryczne do sterowania pośredniego wykorzystuje się przekaźniki lub styczniki oraz układy odpowiednich wzmacniaczy tranzystorowych. Ideę sterownia pośredniego ilustruje rysunek 31.



Rysunek 31: Sterowanie pośrednie silnikiem elektrycznym

Załączenie stycznika **K1** za pośrednictwem sygnału, wygenerowanego w module wyjść cyfrowych spowoduje przełączenie styków roboczych stycznika **K1** i załączenie silnika elektrycznego prądu zmiennego **M**.

Ze względu na rodzaj sygnału wejściowego dla systemu mechatronicznego, który jak już wiadomo doprowadzany jest bezpośrednio lub pośrednio do układów lub urządzeń tegoż rozróżniamy następujące dwa rodzaje modułów wyjść sterownika PLC:

- moduły wyjść cyfrowych (dwustanowych) **DO** (ang. *Digital Output*);
- moduły wyjść analogowych (ciągłych) **AO** (ang. *Analog Output*).

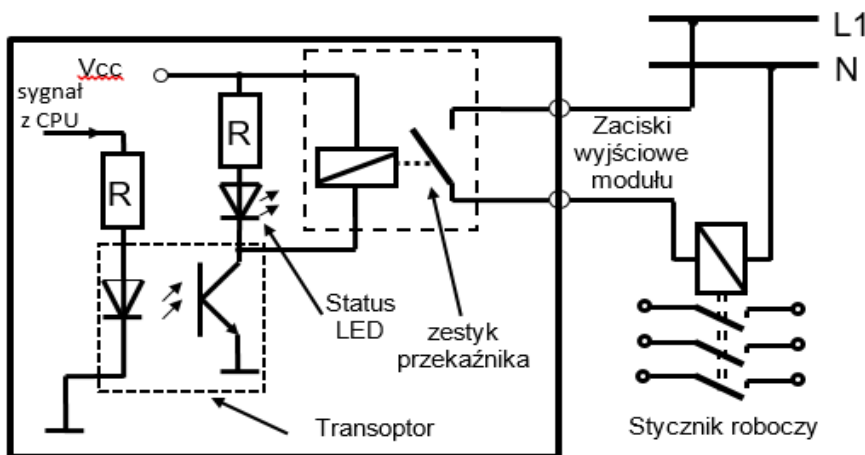
### 3.1. Moduły wyjść cyfrowych DO

Przeznaczeniem modułu wyjść cyfrowych **DO** jest dostarczanie do układów i urządzeń systemu mechatronicznego sygnału cyfrowego o odpowiednim poziomie napięcia lub prądu, niezbędnych do ich działania/niedziałania. Podobnie jak to miało miejsce w przypadku sygnałów cyfrowych dla modułów wejść **DI**, typowe sygnały wysyłane z modułu **DO** należą do grupy napięcia DC o wartości 12V lub 24V, dalej, napięcia przemiennego AC o wartości 110V lub 230V, jak również prądu DC o wartości 4mA lub 20mA.

Wytworzenie na poszczególnym pojedynczym wyjściu modułu **DO** sygnału cyfrowego jest możliwe dzięki wbudowanym w moduł **DO** odpowiednich łączników elektronicznych (półprzewodnikowych) bądź elektrycznych, które zamykają obwód elektryczny związany ze sterowaniem określonym układem lub urządzeniem systemu mechatronicznego. Najczęściej stosuje się następujące typy łączników:

- zestyki przekaźników lub styczników elektromagnetycznych;
- łącza półprzewodnikowe tranzystorów bipolarnych lub unipolarnych;
- łącza półprzewodnikowe tyrystorów lub triaków.

Rysunek 32 ilustruje schemat poglądowy sterowania zestykiem przekaźnika elektromagnetycznego.



Rysunek 32: Schemat poglądowy sterowania przekaźnikiem modułu DO

Sygnał z modułu **CPU** polaryzuje w kierunku przewodzenia diodę tranzystora, która przechodzi w stan emisji promieniowania elektromagnetycznego w kierunku fototranzystora tego tranzystora. Fototranzystor, tym samym spolaryzowany również w kierunku przewodzenia, powoduje przepływ prądu przez cewkę stycznika oraz diodę **LED** statusu, czyli sygnalizacji optycznej zadziałania tego przekaźnika. Działający przekaźnik powoduje załączenie swojego zestyku, co wywołuje zasilenie cewki stycznika roboczego, którego zestyki główne mogą być teraz wykorzystane do sterowania innych urządzeń czy układów systemu mechatronicznego.

Wykorzystanie łącznika w module wyjść **DO** do pośredniego sterowania innymi urządzeniami wykonawczymi, posiada znaczenie praktyczne oraz również ekonomiczne. Po pierwsze pozwala na sterowanie cyfrowe dużą liczbą układów i urządzeń systemu mechatronicznego o różnej mocy, które niejednokrotnie wymagają sygnału sterującego cyfrowego (do załączenia tychże) o parametrach elektrycznych przewyższających parametry sygnału cyfrowego, możliwe do uzyskania w module wyjść **DO** określonego producenta sterownika PLC. Na przykład do załączania silnika elektrycznego dużej mocy, który zasilany jest napięciem AC 3x380V, wymagany jest prąd o wartości 1kA. Nie istnieje taki moduł **DO**, który byłby wyposażony w łącznik przenoszący prąd o takiej wartości. Jedynym rozwiązaniem jest zastosowanie stycznika dużej mocy, którego cewka będzie zasilana sygnałem cyfrowym o napięciu dla stanu „1”, wynoszącym AC 1x230V przy prądzie AC 2A. Po drugie, wykorzystanie jako łączniki główne zestyków roboczych przekaźników, styczników, itp., czyli elementów łatwych i tanich w ewentualnej wymianie na nowe, eliminuje uszkodzenie łącznika w module **DO**, co gdyby nastąpiło, zmusiłoby personel techniczny do wymiany całego modułu **DO**, gdyż pojedynczych uszkodzonych wyjść nie naprawia się.

Należy podkreślić, że występuje zasadnicza różnica w użyciu łącznika półprzewodnikowego typu tranzystor czy tyrystor w dostarczaniu sygnału wejściowego dla systemu mechatronicznego w odniesieniu do łącznika elektrycznego typu zestyk przekaźnika elektromagnetycznego, pomimo faktu, że oba rodzaje łączników modułu **DO** przeznaczone są do tego samego celu. Powyższe wynika ze sposobu realizacji operacji zadziałania lub załączania ww. łączników. W przypadku tego pierwszego łącznika powiemy, że załączanie odbywa się bezstykowo na skutek polaryzacji złącza *p-n* lub *n-p* tranzystora stopnia wyjściowego modułu **DO**, zaś w tym drugim przypadku powiemy, że załączanie odbywa się za pomocą fizycznego przełączania zestyku elektrycznego z jednej pozycji („otwarte”) do drugiej („zamknięte”) przekaźnika wyjściowego modułu **DO**. Różne sposoby realizacji zadziałania lub załączania ww. łączników rodzą również i dalsze skutki lub cechy ich użycia. Po pierwsze, łączenie bezstykowe przy użyciu tranzystora czy triaka oznacza również łączenie pozbawione efektu dźwiękowego załączania zestyku, jak to ma miejsce przy łączeniu za pomocą zestyku przekaźnika. (Wśród automatyków znaleźć można porównanie pracy zestyków przekaźników czy styczników do tzw. „szycia”). Po drugie, przy wykorzystaniu łączników półprzewodnikowych można załączać układy i urządzenia systemu mechatronicznego z dużą większą częstością niż to można zrobić przy użyciu zestyku przekaźnika. (Typowa częstotliwość załączania takich zestyków wyrażana jest w milisekundach). Po trzecie i ta cecha jest na korzyść zestyku przekaźnika, prądy płynące przez taki zestyk mogą być większe niż prądy płynące przez łącze półprzewodnikowe. (W przeważającej większości przypadków łącze takie steruje pośrednio cewką innego elementu wzmacniającego ten sygnał cyfrowy, zaś przy zestykach przekaźnikowych spotyka się wiele aplikacji sterowania, gdzie zestyk taki steruje bezpośrednio układem lub urządzeniem systemu mechatronicznego). Po czwarte, parametry techniczne modułów **DO**, w których łącznikami są tranzystory czy tyrystory nie obejmują trwałości zestyków ze względu na prądy płynące przez łącznik. Przy zestyku przekaźnika w module **DO** obowiązuje projektanta systemu PLC wiedza na temat trwałości takich zestyków. Ilustruje to Tabela 8.

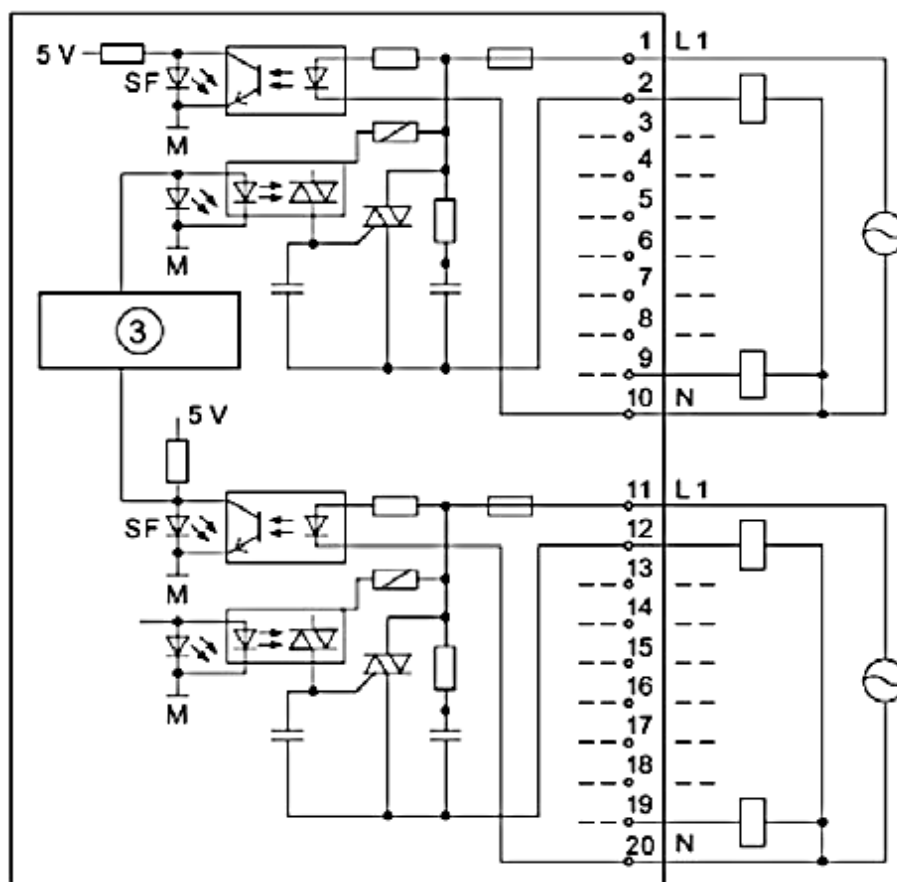
Tabela 8: Możliwości przełączania i trwałość zestyków przekaźnika w typowym stopniu wyjściowym modułu DO

NAPIĘCIE	PRĄD	ILOŚĆ PRZEŁĄCZEŃ	NAPIĘCIE	PRĄD	ILOŚĆ PRZEŁĄCZEŃ
Obciążenie oporowe			Obciążenie indukcyjne		
DC 24V	2,0A	0,1mln	DC 24V	2,0A	0,05mln
DC 24V	1,0A	0,2mln	DC 24V	1,0A	0,1mln
<u>DC 24V</u>	<u>0,5A</u>	<u>1,0mln</u>	DC 24V	0,5A	0,5mln
DC 60V	0,5A	0,2mln	DC 60V	0,5A	0,1mln
DC 120V	0,2A	0,6mln	DC 120V	0,2A	0,3mln
AC 48V	1,5A	1,5mln	AC 48V	1,5A	1,0mln
AC 60V	1,5A	1,5mln	AC 60V	1,5A	1,0mln
AC 120V	2,0A	1,0mln	AC 120V	2,0A	0,7mln
AC 120V	1,0A	1,5mln	AC 120V	1,0A	1,0mln
AC 120V	0,5A	2,0mln	AC 120V	0,5A	1,5mln

Jak pokazuje **Tabela 8** możliwości łączeniowe typowego zestyku przekaźnikowego w module **DO** są ograniczone. Przy pierwszym oglądzie tych parametrów może się jednak wydawać, że nawet ograniczona ilość przełączeń takiego zestyku wyrażona w setkach tysięcy przełączeń a nawet i więcej, zagwarantuje wieloletnią używalność modułu **DO** opartego na takich łącznikach. Nic bardziej mylnego. Wystarczy wyobrazić sobie użycie takiego wyjścia modułu do załączania i wyłączenia np. cewki elektrozaworu (DC 24V, 0.5A) siłownika pneumatycznego jednostronnego działania powrót sprężyną, który poprzez użycie swojego tłoczyska nanosi etykietę na przesuwającej się po taśmie produkcyjnej butelce z napojem. Przy dużej wydajności takiej linii technologicznej nanoszenie pojedynczej etykiety odbywać się ma co 1 sekundę (co nie jest wartością wygórowaną). Łatwo obliczyć, że w przeciągu jednej godziny taki siłownik „ostemplowałby” 3600 butelek, co przy cyklu dwuzmianowym bez przestoju dałoby liczbę 57600 przełączeń zestyku przekaźnika w module **DO** wynoszącą  $3600 * 16 \text{ godzin} = 57600$ . Na podstawie **Tabeli 8** uzyskać można orientacyjną żywotność takiego zestyku wynoszącą  $1 \text{ mln} / 57600 \approx 17$  dni dwuzmianowych. Zatem ekonomika wykorzystania do powyższego celu modułu wyjść cyfrowych **DO**, w którym zastosowanie miałby łącznik przekaźnika, nie cechowałaby się dużą ekonomią takiego projektu. Zamiast modułu DO z takim łącznikiem należałoby wykorzystać moduł z łącznikiem półprzewodnikowym.

Powyższe pokazuje, że dokonując wyboru modułu **DO** celem określonego wykorzystania go do sterowania układami i urządzeniami systemu mechatronicznego, należy to uczynić nie tylko na podstawie dopasowania modułu pod kątem spełnianej funkcji, ale i parametrów łączników, użytych w module **DO**.

**Rysunek 33** oraz **Tabela 9** ilustrują odpowiednio schemat funkcjonalny oraz wybrane parametry techniczne modułu **SM322** rodziny **SIMATIC S7**, który posiada 16 sztuk łączników półprzewodnikowych – triaków.



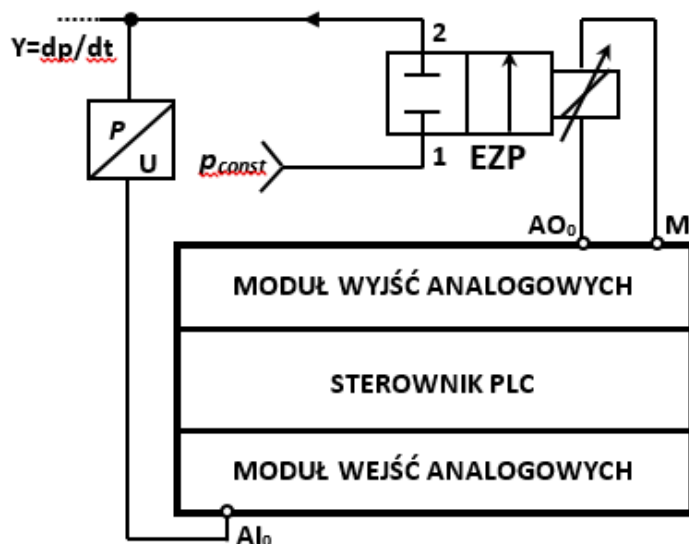
Rysunek 33: Schemat funkcjonalny modułu SM322 zawierającego triaki jako łączniki

Tabela 9: Wybrane parametry techniczne modułu SM322 z rysunku 23

Parametr	Wartość
▪ Ilość wyjść cyfrowych (triai)	16
▪ Długość kabla bez ekranu/w ekranie	Maks. 600m/1000m
▪ Napięcie obciążenia	AC 120/230V
▪ Maksymalny pobór prądu przez moduł	200mA
▪ Strata mocy w module	8.6W
▪ Wskaźnik statusu wyjścia	LED zielony
▪ Funkcje diagnostyczne	LED czerwony
▪ Prąd wyjściowy nominalny przy sygnale „1”	1A
▪ Prąd spoczynkowy przy sygnale „0”	2mA
▪ Częstotliwość przełączania: obciążenie rezystancyjne/indukcyjne	10Hz/0.5Hz
▪ Wymiary	40x125x117 mm

### 3.2. Moduły wyjść analogowych AO

Przeznaczeniem modułu wyjść analogowych **AO** jest dostarczenie sygnału analogowego do układu lub urządzenia systemu mechatronicznego, które wymaga do swojego działania sygnału sterującego analogowego. Przykładem takiego układu jest serwomechanizm, oparty o silnik prądu przemiennego i falownik lub elektrozawór proporcjonalny pneumatyczny, który ma np. kontrolować (regulować) natężenie przepływu cieczy lub gazu w rurociągu. Użycie takiego regulatora w konfiguracji ze modulem **AO** ilustruje rysunek 34.



Rysunek 34: Regulacja przepływu ciśnienia za pomocą elektrozaworu proporcjonalnego pneumatycznego EZP

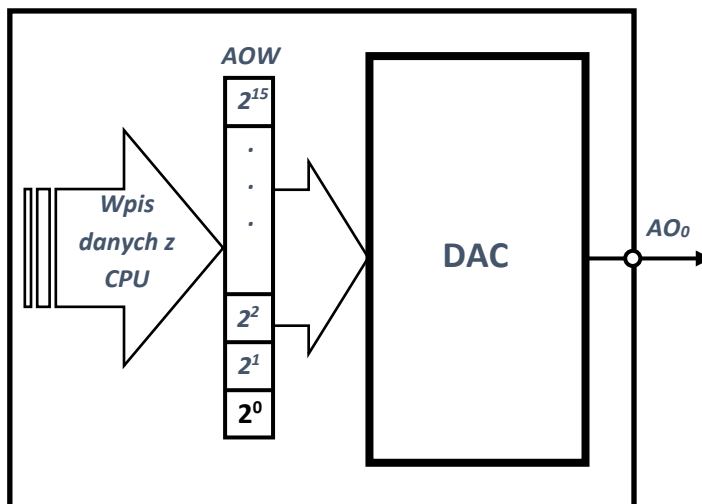
Na rysunku 34 elektrozawór proporcjonalny **EZP** przy braku sterowania, pochodzącego z modułu **AO** pełni funkcję zaworu normalnie zamkniętego **NC** (ang. *Normally Closed*). Oznacza to, że przepływ czynnika roboczego (w tym przypadku sprężonego powietrza  $p$ ) pomiędzy zaciskami przyłączeniowymi zaworu **1** – **2** nie występuje. W przypadku konieczności sterowania układem (niewidocznym na rysunku 34) za pośrednictwem regulowanego sygnału pneumatycznego  $Y$ , na cewkę zaworu **EZP** podawany jest sygnał analogowy elektryczny, który pochodzi z wyjścia  $AO_0$  modułu wyjść sterownika PLC jako sygnał wyjściowy algorytmu regulacji, zaimplementowanego w programie użytkowym sterownika. Odpowiednia wartość tego sygnału analogowego wpłynie w tym momencie na przesuwanie się mechaniczne odpowiednich elementów zaworu **EZP**, dzięki czemu osiągnięty zostanie sygnał wyjściowy  $Y$  (który jest pochodną regulacji ciśnienia wejściowego  $p_{const}$ ) na wylocie zaworu **EZP**. Przetwornik  $p/U$  podaje aktualną wartość sygnału  $Y$  celem obliczenia uchybu ciśnienia  $p$  niezbędnego dla algorytmu regulacji.

Najczęściej wykorzystywanymi sygnałami analogowymi w sterowaniu układami i urządzeniami systemów mechatronicznych, generowanymi przez moduły **AO** są sygnały napięciowe DC  $0 \div 10V$ ,  $1 \div 5V$  i  $-10 \div 10V$  oraz sygnały prądowe DC  $4 \div 20mA$ ,  $0 \div 20mA$  oraz  $-20 \div 20mA$ .

Pojawienie się sygnału analogowego na danym wyjściu analogowym modułu **AO** możliwe jest dzięki operacjom zamiany sygnału cyfrowego (którego zapis jest przechowywany w odpowiednim rejestrze związanym z danym modulem **AO**) na analogowy przez przetwornik cyfrowo-analogowy **DAC** (ang. *Digital to Analog Converter*), który jest integralną częścią modułu wyjść analogowych sterownika PLC. Poglądowo ilustruje to rysunek 35.

## DEFINICJA

[Przetwornik cyfrowo-analogowy DAC – układ elektroniczny przetwarzający sygnał cyfrowy w postaci danych cyfrowych na równoważny mu sygnał analogowy w postaci prądu elektrycznego lub napięcia, których wartości są proporcjonalne do tej liczby]



Rysunek 35: Użycie przetwornika cyfrowo-analogowego DAC w module wyjść analogowych AO sterownika PLC

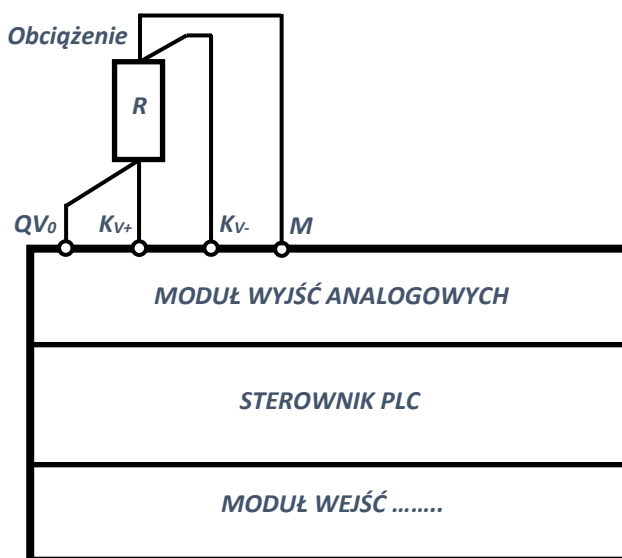
Zasygnalizowany na rysunku 35 wpis danych z CPU jest jednym z trybów w realizacji przez mikroprocesor modułu CPU pojedynczego cyklu programowego. Jest to tzw. tryb sterowania wyjściami sterownika poprzez wpis danej cyfrowej do rejestru związanego z danym modulem wyjść. (W tym przypadku jest to rejestr związany z modulem AO o oznaczeniu AOW). Ponieważ wierne odzwierciedlenie sygnału analogowego na podstawie danej cyfrowej zależy m.in. od liczby jej bitów, technika obecnie produkowanych przetworników DAC, które mają zastosowanie w modulech AO pozwoliła, aby liczba bitów danej cyfrowej wpisywanej do rejestru AOW była większa niż osiem (większa niż 1Bajt), i obecnie wynosi ona zazwyczaj 12, 14 lub 16 bitów. Zatem rejestr AOW, w którym CPU zapisuje daną cyfrową (jak na rysunku 25) posiada organizację słowa „Word” czyli 16 bitów. (Stąd na rysunku 35 symbol rejestru modułu wyjść analogowych to AOW, gdzie „W” pochodzi od słowa „Word”). Dostępność dużej liczby modułów typu AO w konfiguracji sterowników PLC, zwłaszcza modułów pozwala na dopasowanie określonego modułu, który legitymuje się danymi parametrami sygnałowymi dla swoich kanałów, do konkretnej aplikacji sterowania układami czy urządzeniami w systemie mechatronicznym. Przy czym należy pamiętać, że z reguły każdy taki kanał o wyjściu analogowym, bez względu na ich liczbę w module AO, czy to będzie liczba 4, 8 czy więcej kanałów, cechuje się identycznymi parametrami sygnałowymi. Przykładowo moduł wyjść analogowych, oznaczony jako M-4402 dla rodziny sterowników MOXA posiada cztery kanały analogowe, które mogą sterować czterema układami lub urządzeniami za pośrednictwem sygnału prądowego z przedziału 4 do 20mA DC. Pokazuje to Tabela 10.

Tabela 10: Parametry modułu M-4402 sterowników rodziny MOXA

Parametr	Wartość
▪ Liczba wyjść	4
▪ Rozdzielczość	12-bit, 3,91 $\mu$ A/bit
▪ Zakres prądu wyjściowego	4 – 20mA
▪ Format danych	16-bitowa liczba całkowita
▪ Dokładność	+/- 0,1% FSR dla 25°C +/- 0,3 FSR dla 0 i 60°C
▪ Impedancja wyjściowa	Max. 500 $\Omega$
▪ Czas konwersji	2ms dla wszystkich kanałów
▪ Pobór mocy	Max. 65mA przy 5VDC

Należy zaznaczyć, że na rynku modułów **AO** istnieją i takie, które posiadają taką konfigurację zacisków przyłączeniowych dla wyprowadzenia sygnału analogowego, że umożliwia to wybór między doprowadzeniem sygnału analogowego napięcia lub prądu, oczywiście o zakresach wartości przewidzianych przez producenta tego modułu.

Doprowadzenie sygnału analogowego napięciowego z modułu **AO** do układu lub urządzenia systemu mechatronicznego wymaga nie tylko spełnienia warunku prawidłowości połączeń elektrycznych między zaciskami modułu oraz urządzenia z wykorzystaniem pary dwóch przewodów. Okablowanie prawidłowe wymaga zazwyczaj zastosowania kompensacji impedancji takiej linii. Kompensacja impedancji linii napięciowej realizowana jest za pośrednictwem połączenia czteroprzewodowego. Wyjaśnia to rysunek 36.



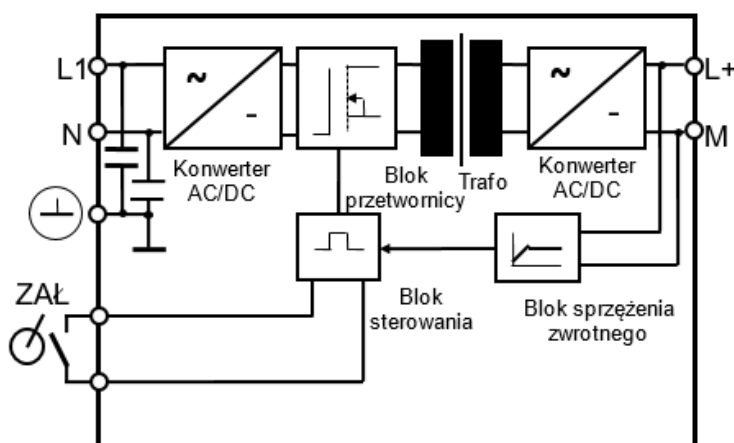
Rysunek 36: Kompensacja impedancji linii napięciowej



#### 4. Moduły zasilaczy sterowników PLC

Pojęcie modułu zasilacza **PS** (ang. *Power Source*) rozumiane jako oddzielna część, funkcjonuje w ujęciu sterownika PLC modułowego, ponieważ pojedyncze moduły takiego sterownika, (o których była już mowa wcześniej), nie posiadają wewnętrznego bloku, który mógłby pełnić rolę zasilacza dla takiego modułu. Zatem, poprawne funkcjonowanie skonfigurowanego sterownika PLC typu modułowego musi obejmować również i moduł zasilacza. Nie oznacza to jednak, że zasilacz jako taki występuje wyłącznie w sterowniku PLC typu modułowego. Zasilacz, aczkolwiek nie określany jako pojedynczy moduł występuje również w sterowniku PLC typu złożonego. W tego rodzaju urządzeniu zasilacz jest po prostu wmontowany na stałe w jego obudowę i dlatego nie jest nazywany modułem zasilacza, co sugerowałoby możliwość wyjęcia takiego modułu, a to jest niemożliwe.

Jak już wiadomo sterowniki PLC typu modułowego mogą składać się z wielu modułów wejść/wyjść, zarówno cyfrowych jak i analogowych, których liczba może wynosić nawet i kilkanaście. Liczba tych modułów wejść/wyjść pociąga za sobą zasilanie takiej konfiguracji sterownika PLC modułem zasilacza **PS** o odpowiednich parametrach prądowo-napięciowych. Dodatkowo przy doborze modułu zasilacza **PS** należy uwzględnić fakt, iż w większości przypadków sygnały, które pochodzą z takiego modułu zasilacza doprowadzone są również i do niektórych elementów oczyjnikowania systemu mechatronicznego, co zwiększa obciążenie dla modułu zasilacza **PS**. Schemat funkcjonalny rozwiązania typowego modułu zasilacza **PS** ilustruje rysunek 37.



Rysunek 37: Schemat funkcjonalny typowego modułu zasilacza **PS**

Na rysunku 37 napięcie zasilające moduł zasilacza **PS** doprowadzone jest do zacisków **L1** oraz **N**. Z analizy stopnia wejściowego modułu wynika, że napięciem zasilającym jest napięcie przemienne **AC**. W praktyce napięciem tym będzie napięcie **AC** o wartościach 24V, 120V lub 230V. Z rysunku 37 wynika, że samo doprowadzenie napięcia zasilającego do zacisków **L1** i **N** nie zagwarantuje pojawienie się napięcia wyjściowego o postaci napięcia stałego, które jest osiągnięte na zaciskach **L+** oraz **M**. Stanie się to możliwe dopiero po włączeniu modułu **PS** poprzez załącznik **ZAŁ**, co uruchomi wszystkie bloki funkcjonalne modułu zasilacza sterownika **PS**.

W przeważającej większości przypadków dana rodzina modułów sterownika PLC typu modułowego zasilana jest napięciem o takiej samej wartości, np. DC 24V. To powoduje, że wszystkie moduły **PS** dla takiej rodziny sterowników posiadają identyczne napięcie wyjściowe, zaś różnią się między sobą jedynie rodzajem i wartością napięcia wejściowego. Tabela 11 ilustruje parametry modułu **PS** dla sterowników PLC rodziny **MODICON**.

Tabela 11: Parametry modułu zasilacza PS BMX CPS 2010 dla sterowników modułowych PLC rodziny MODICON

Numer zasilacza modułu	Parametr	Wartość
<b>Pierwszy</b>	▪ Napięcie wejściowe nominalne	<b>24V DC izolowane</b>
	▪ Limity napięcia wejściowego	<b>18 ... 31,2V DC</b>
	▪ Prąd nominalny	<b>1A dla 24V DC</b>
	▪ Prąd zwarciový (1)	<b>30A</b>
	▪ Czas mikro-przerwy	<b>&lt;= 1rms</b>
<b>Drugi</b>	▪ Moc użyteczna (2)	<b>17W</b>
	▪ Napięcie nominalne (2)	<b>3.3V DC</b>
	▪ Prąd nominalny (2)	<b>2,5A</b>
	▪ Moc nominalna (2)	<b>8,25W</b>
	▪ Napięcie nominalne (3)	<b>24V DC</b>
	▪ Prąd nominalny (3)	<b>0,7A</b>
	▪ Moc nominalna (3)	<b>16,8W</b>
	▪ Maksymalna długość kabla zasilającego: - Dla przekroju kabla 1,5mm <sup>2</sup> - Dla przekroju kabla 2,5mm <sup>2</sup>	<b>20m</b> <b>30m</b>
(1) ta wartość powinna być brana pod uwagę, gdy uruchamianych jest kilka urządzeń jednocześnie; (2) napięcie wewnętrzne dla modułów I/O; (3) napięcie dla modułów I/O oraz procesora.		

#### 4.1. Podsumowanie

W module drugim zawarto informacje, niezbędne do zrozumienia konfiguracji sprzętowej sterownika PLC, zwłaszcza sterownika typu modułowego. Omówiono niezbędne moduły dla konfiguracji podstawowej takiego sterownika. Wskazano, iż najważniejszym modułem sterownika PLC bez względu na jego rodzaj jest moduł CPU, który zawiera najważniejszy układ cyfrowy – mikroprocesor. Zwrócono uwagę na najważniejsze aspekty wykorzystania modułów wejścia i wyjścia sterownika PLC typu modułowego, z podziałem na moduły cyfrowe oraz moduły analogowe. Całość modułu drugiego niniejszej książki uzupełniają niezbędne definicje oraz rysunki, które autor zaproponował dla lepszego zrozumienia wykładanego materiału.

## BIBLIOGRAFIA

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