



MINISTERSTWO EDUKACJI
i NAUKI



Marian Bączkowski

Projektowanie układów sterowania w urządzeniach i systemach mechatronicznych 311[50].Z1.04

Poradnik dla ucznia

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2005

Recenzenci:

mgr inż. Anna Suliga

mgr inż. Anna Sierba

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Katarzyna Maćkowska

Konsultacja:

dr inż. Janusz Figurski

Korekta:

mgr Joanna Iwanowska

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[50].Z1.04 Projektowanie układów sterowania w urządzeniach i systemach mechatronicznych zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik mechatronik.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	3
2. Wymagania wstępne	4
3. Cele kształcenia	5
4. Materiał nauczania	6
4.1. Struktura urządzeń i systemów mechatronicznych	6
4.1.1. Materiał nauczania	6
4.1.2. Pytania sprawdzające	8
4.1.3. Ćwiczenia	8
4.1.4. Sprawdzian postępów	9
4.2. Sygnały w urządzeniach i systemach mechatronicznych	9
4.2.1. Materiał nauczania	9
4.2.2. Pytania sprawdzające	11
4.2.3. Ćwiczenia	12
4.2.4. Sprawdzian postępów	12
4.3. Rodzaje, budowa, funkcje i parametry sterowników PLC	13
4.3.1. Materiał nauczania	13
4.3.2. Pytania sprawdzające	21
4.3.3. Ćwiczenia	21
4.3.4. Sprawdzian postępów	22
4.4. Regulatory w urządzeniach i systemach mechatronicznych	22
4.4.1. Materiał nauczania	22
4.4.2. Pytania sprawdzające	36
4.4.3. Ćwiczenia	36
4.4.4. Sprawdzian postępów	36
4.5. Falowniki w urządzeniach i systemach mechatronicznych	37
4.5.1. Materiał nauczania	37
4.5.2. Pytania sprawdzające	47
4.5.3. Ćwiczenia	48
4.5.4. Sprawdzian postępów	48
4.6. Zasady współdziałania pomiędzy sterownikami, regulatorami i falownikami	48
4.6.1. Materiał nauczania	48
4.6.2. Pytania sprawdzające	55
4.6.3. Ćwiczenia	55
4.6.4. Sprawdzian postępów	56
4.7. Zasady projektowania urządzeń i systemów mechatronicznych	56
4.7.1. Materiał nauczania	56
4.7.2. Pytania sprawdzające	59
4.7.3. Ćwiczenia	59
4.7.4. Sprawdzian postępów	60
5. Sprawdzian osiągnięć	61
6. Literatura	64

1. WPROWADZENIE

Poradnik będzie Ci pomocny w przyswajaniu podstawowych wiadomości, potrzebnych do projektowania układów sterowania w urządzeniach i systemach mechatroniki.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne, wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia, wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas pracy z poradnikiem,
- materiał nauczania, „pigułkę” wiadomości teoretycznych niezbędnych do opanowania treści jednostki modułowej,
- zestaw pytań przydatny do sprawdzenia, czy już opanowałeś podane treści,
- ćwiczenia pomogą Ci zweryfikować wiadomości teoretyczne oraz ukształtować umiejętności praktyczne,
- sprawdzian osiągnięć, przykładowy zestaw zadań i pytań. Pozytywny wynik sprawdzianu potwierdzi, że dobrze pracowałeś podczas zajęć i że nabrałeś wiedzy i umiejętności z zakresu tej jednostki modułowej,
- literaturę uzupełniającą.

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu nauczania jednostki modułowej powinieneś umieć:

- stosować układ SI,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami z zakresu techniki cyfrowej, elektroniki, maszyn elektrycznych, właściwości członów elementarnych automatyki,
- obsługiwać komputer na poziomie podstawowym,
- korzystać z różnych źródeł informacji.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku procesu kształcenia powinieneś umieć:

- przeanalizować działania urządzeń i systemów mechatronicznych,
- wyjaśnić funkcje urządzeń sterujących w urządzeniach i systemach mechatronicznych,
- scharakteryzować parametry urządzenia sterującego w urządzeniach mechatronicznych,
- dobrać urządzenie sterujące do zastosowania w urządzeniach i systemach mechatronicznych,
- dobrać elementy wykonawcze urządzeń i systemów mechatronicznych,
- dobrać układy i urządzenia zasilające elementy wykonawcze,
- dobrać czujniki i przetworniki pomiarowe w urządzeniach i systemach mechatronicznych,
- dobrać urządzenia do regulacji parametrów urządzeń i systemów mechatronicznych,
- narysować schemat połączeń urządzenia / systemu mechatronicznego,
- posłużyć się technologią informatyczną podczas projektowania urządzeń i systemów mechatronicznych.

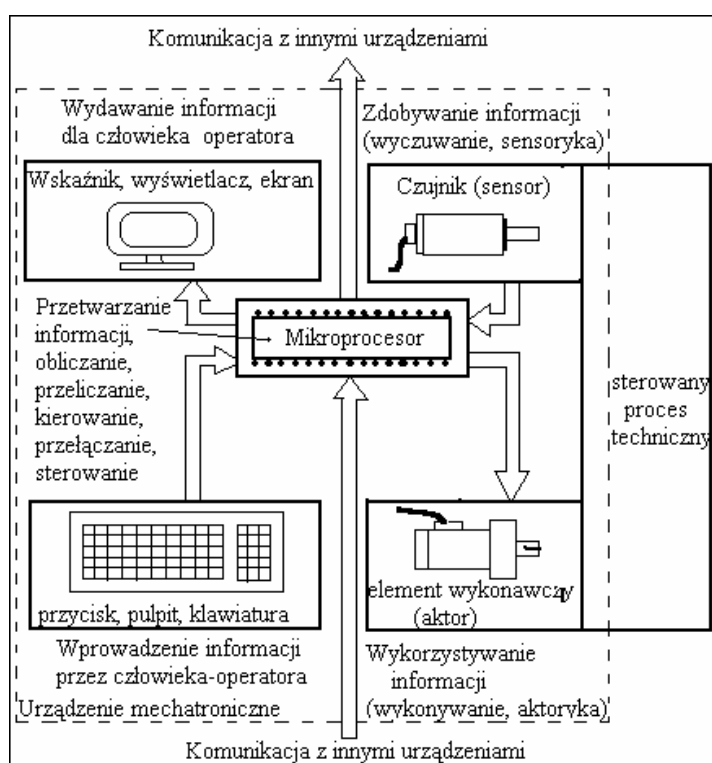
4. MATERIAŁ NAUCZANIA

Poradnik umożliwi Ci nabycie umiejętności dobierania wszystkich elementów i podzespołów układu sterowania urządzenia i systemach mechatronicznego. W wyniku procesu kształcenia powinieneś wykonać projekt typowego sterowania urządzenia i systemu mechatronicznego, w którym występują różne rodzaje elementów wykonawczych (silniki elektryczne, siłowniki pneumatyczne lub hydrauliczne), a elementem sterującym jest sterownik mikroprocesorowy lub regulator cyfrowy.

4.1. Struktura urządzeń i systemów mechatronicznych

4.1.1. Materiał nauczania

Strukturę urządzenia bądź systemu mechatronicznego najogólniej przedstawia rys.1.



Rys. 1. Uniwersalny schemat urządzenia mechatronicznego [1]

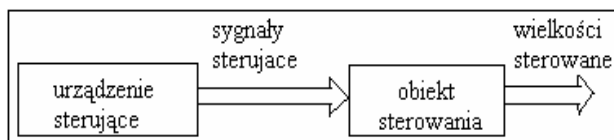
Mechatroniczny obiekt sterowania to najczęściej zespół składający się z urządzenia wykonawczego (aktora) oraz pewnego procesu lub urządzenia technicznego, którego działanie oceniane jest przez kontrolę stanu parametrów wielkości sterowanych. Prosty przykładem może tu być zespół silnik elektryczny – maszyna robocza. Inny, bardziej złożony obiekt sterowania to zespół serwo-silnik – jednostka kinematyczna robota. Kontrola stanu dotyczy tu, np. położenia lub prędkości, a nieraz także przyspieszeń zespołów ruchu. Kontrola ta odbywa się za pośrednictwem obiektowych elementów sensorycznych, śledzących przebieg procesu. Informacja z sensorów przekazywana jest torem **ujemnego sprzężenia zwrotnego** do układu sterowania.

Funkcjonowanie urządzenia mechatronicznego jest efektem współdziałania trzech układów: sterującego, sensorycznego i napędowego oraz wynikiem poczynań operatora, programującego pracę urządzenia. Celowe staje się więc wyodrębnienie następujących trzech grup zadań układu sterowania:

- 1) reagowania na sygnały układu pomiarowego parametrów ruchu oraz sensorycznego,
- 2) oddziaływania na napędy zespołów ruchu modułów kinematycznych oraz na napędy obsługiwanych urządzeń technologicznych,
- 3) reagowania na działalność operatora.

Kluczowym zagadnieniem przy projektowaniu urządzenia mechatronicznego staje się koncepcja aktora (ang: actuator), czyli elektronicznie sterowanego elementu wykonawczego, który bezpośrednio oddziałuje na sterowany proces techniczny (nastawia go). Wielkością wyjściową aktorów jest zwykle energia lub moc mechaniczna.

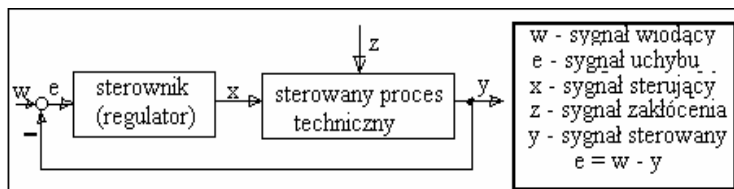
Generalnie układem sterowania nazywany jest układ automatyki, w którym wyróżnić można urządzenie sterujące oraz obiekt sterowania, a sterowaniem nazywa się proces celowego oddziaływania sygnałów sterujących na przyrządy, urządzenia technologiczne lub maszyny robocze. Dla układów sterowania charakterystyczny jest **otwarty układ** przepływu sygnałów (rys. 2).



Rys. 2. Schemat układu sterowania

Charakterystyczny dla układu sterowania jest brak bieżących pomiarów i korekcji wielkości sterowanych. Urządzenie sterujące oddziałuje na obiekt zgodnie z przebiegiem wartości zadanej. Układy takie spełniają zwykle proste funkcje, np. włączenie – wyłączenie, otwarcie – zamknięcie. Przyjąć należy, że w urządzeniach i systemach mechatronicznych rolę urządzenia sterującego pełni zazwyczaj sterownik PLC (Programmable Logic Controller), co wynika z technicznych uwarunkowań (obecna technologia musi dostosowywać się do potrzeb rynku a wymaga to dużej elastyczności procesów wytwarzania) oraz wysokiego stopnia rozwoju techniki mikroprocesorowej.

Najczęściej zachodzi potrzeba wykorzystania **zamkniętych układów sterowania**, nazywanych układami regulacji (rys. 3). Potrzeba taka istnieje zwłaszcza wtedy, gdy proces odbywa się przy oddziaływaniu przeróżnych zakłóceń, powodujących oddalenie się od założonych celów sterowania.



Rys. 3. Schemat układu regulacji

Rolę urządzenia sterującego można tu powierzyć sterownikowi PLC, regulatorowi cyfrowemu lub mikrokontrolerowi (pamiętaj, że w mechatronice sercem systemu jest urządzenie mikroprocesorowe). Jedno z tych urządzeń będzie porównywać sygnały nadawane przez obiektowe układy sensoryczne z odpowiadającymi im sygnałami nastawników wartości zadanych. W prawidłowo działającym układzie regulacji jakiegokolwiek tendencje do rozbieżności tych sygnałów powinny być skutecznie kompensowane przez korektę sygnałami sterującymi.

W odróżnieniu od urządzenia mechatronicznego system mechatroniczny zapewnia kompleksową obsługę dowolnego procesu technicznego ograniczającą okres jałowej pracy oraz pracy ręcznej. Przykładem systemu mechatronicznego może być robot i wyposażenie dodatkowe do zautomatyzowanego operowania materiałem. Najważniejszymi elementami wyposażenia mogą tu być: podajniki pojemnikowe, tace indeksujące (poruszające się ruchem przerywanym okresowo), podajniki magazynkowe, stoły indeksujące oraz przenośnik.

Wzajemne ustawienie urządzenia mechatronicznego i elementów wyposażenia dodatkowego nazywa się konfiguracją systemu mechatronicznego. W przypadku systemu robotycznego konfiguracja może mieć następujące formy:

- autonomiczną (z robotem pracującym samodzielnie),
- złożoną (z robotem włączonym w linię montażową),
- komórki roboczej, niezależnej od cyklu (do procesowania wielu produktów, które podlegają różnym sekwencjom procedur).

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie zadania realizuje mikroprocesor w urządzeniu mechatronicznym?
2. Wyjaśnij pojęcie mechatronicznego obiektu sterowania.
3. Jakie zadania realizują elementy sensoryczne?
4. Jakie zadania w układzie mechatronicznym pełnią aktry?
5. Jakie cechy ma otwarty układ sterowania?
6. Na czym polega istota układu regulacji?
7. Co to jest sygnał uchybu?
8. Jaka jest zasadnicza cecha systemu mechatronicznego?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na podstawie wybranego z kart katalogowych urządzenia mechatronicznego, dokonaj pogrupowania zadań sterowania z wyodrębnieniem bloków, realizujących te zadania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z kartą katalogową wybranego urządzenia mechatronicznego,
- 2) wynotować bloki układu sterowania i realizowane przez nie zadania.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- karty katalogowe urządzeń mechatronicznych
- literatura zgodna z pkt. 6 Poradnika dla ucznia, poz.: [1], [5], [8]

Ćwiczenie 2

Zakładając, że system mechatroniczny to robot pracujący w otoczeniu zmywarki do naczyń kuchennych oraz półek w szafce, zaproponuj sposób konfiguracji i działania systemu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją zmywarki,
- 2) wykonać niezbędny szkic sytuacyjny, określić wyposażenie robota, zapisać w punktach algorytm działania systemu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja robotów użytkowych oraz zmywarki,
- literatura zgodna z pkt. 6 Poradnika dla ucznia, poz.: [1], [5], [8].

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

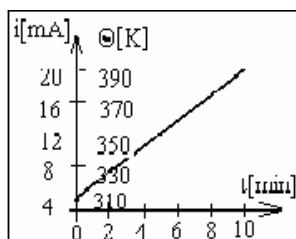
- | | Tak | Nie |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) określić zadania mikroprocesora w urządzeniu mechatronicznym? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) scharakteryzować zadania układu sterowania w urządzeniu mechatronicznym? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) wyjaśnić pojęcie mechatronicznego obiektu sterowania? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) wyjaśnić rolę sensorów w systemie mechatronicznym? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) wskazać przykłady mechatronicznych urządzeń i systemów? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.2. Sygnały w urządzeniach i systemach mechatroniki

4.2.1. Materiał nauczania

Sygnałem nazywa się dowolną wielkość fizyczną, występującą w procesie sterowania, za pomocą której przekazywane są informacje. Każdy sygnał ma określoną treść fizyczną, która wskazuje wielkość fizyczną sygnału oraz zdefiniowany parametr informacji, który wskazuje sposób przenoszenia informacji, wartość sygnału lub zakres jego zmian.

Z uwagi na sposób przenoszenia informacji rozróżnia się: sygnały **analogowe** i sygnały **dyskretne**. Sygnał analogowy charakteryzuje się tym, że wartości wielkości sygnalizowanej są jednoznacznie i w sposób ciągły odwzorowane na wartości parametru informacji. Przykładem może tu być odwzorowanie temperatury na sygnał natężenia prądu elektrycznego (rys. 4). Czas jest tu funkcją ciągłą, a sygnał ma nieprzeliczalny zbiór wartości w przedziale (4÷20)mA.

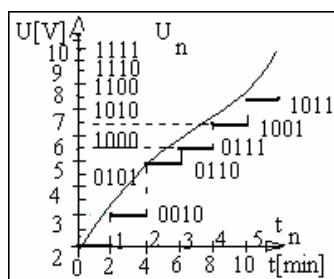


Rys. 4. Przykład analogowego zapisu sygnału temperatury

Sygnał dyskretny charakteryzuje się określoną liczbą dyskretnych wartości parametru informacji. Najprostszą formą sygnału dyskretnego jest sygnał binarny, który może mieć tylko dwie wartości: 0 lub 1 (false or true). Np. sygnał napięcia może mieć wartość logiczną 0 i wtedy fizycznie jest w przedziale (0 ÷ 0.4)V lub wartość logiczną 1 i wtedy jest w przedziale (2.4 ÷ 5.0)V, jak to ma miejsce w układach TTL serii 74.

W systemach mikroprocesorowych sygnał cyfrowy zapisywany jest w kodzie binarnym, czyli zerojedynkowym. Parametr informacji przyjmuje tylko pewne wartości, wynikające z maksymalnej długości ciągu zerojedynkowego. Np., jeżeli jest to ciąg 8-bitowy to możliwych jest $2^8 = 256$ stanów (poziomów) sygnału, jeżeli jest to ciąg 4-bitowy to możliwych jest $2^4 = 16$ stanów sygnału. Zmiana stanu sygnału cyfrowego z jednego poziomu na inny

może mieć miejsce tylko w określonych chwilach, co wynika, albo z próbkowania sygnału analogowego, albo z taktu zegara μP , synchronizującego przetwarzanie sygnałów. Przykład sygnału cyfrowego ilustruje rys. 5, na którym przedstawiono skwantowany sygnał napięcia z zakresu $(2 \div 10)$ V na ciągu zerojedynkowe 4-bitowe. Zmiany stanu możliwe są tylko w wyznaczonych taktach.

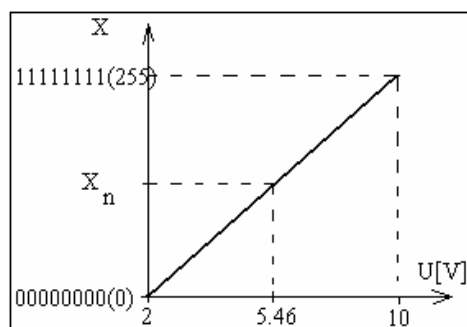


Rys. 5. Cyfrowy zapis sygnału napięcia, próbkowanego w chwilach $t_n = 0;1;2;3;$

Z rys. 5 widać, że sygnał cyfrowy niedokładnie odzwierciedla swoje analogowe odniesienie. Jeżeli jednak poziom kwantyzacji będzie dostatecznie duży, wówczas dokładność może być zadowalająca. W przypadku 10-bitowego przetwarzania rozdzielczość sygnału napięcia w zakresie $(2 \div 10)$ V wynosi ok. 8 mV.

Należy zauważyć, że sygnały cyfrowe są odporne na działanie zakłóceń, czego nie można powiedzieć o sygnałach analogowych.

Gdybyśmy mieli skwantować sygnał napięcia w przedziale $(2 \div 10)$ V na 8-bitowy ciąg zerojedynkowy w tzw. kodzie naturalnym, to wartości sygnału równej 2 V odpowiadałby ciąg ośmiu zer (00000000), natomiast wartości sygnału równej 10 V odpowiadałby ciąg ośmiu jedynek (11111111). Pytanie, jaki ciąg odpowiadałby, np. wartości sygnału, wynoszącej 5.46 V? Odpowiedź przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Ilustracja konwersji sygnału napięcia do postaci cyfrowej

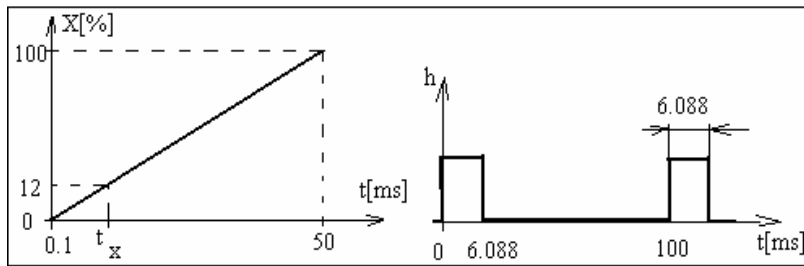
Z proporcji :

$$(5.46 - 2)/X_n = (10-2)/255$$

wyznaczyć można X_n , które w tym przypadku wynosi 110.3. Ponieważ nie będę prezentował zapisu części ułamkowej, dokonam konwersji części całkowitej tzn. 110 do postaci cyfrowej otrzymując ciąg: 01101110. Kto nie wierzy, niech sprawdzi.

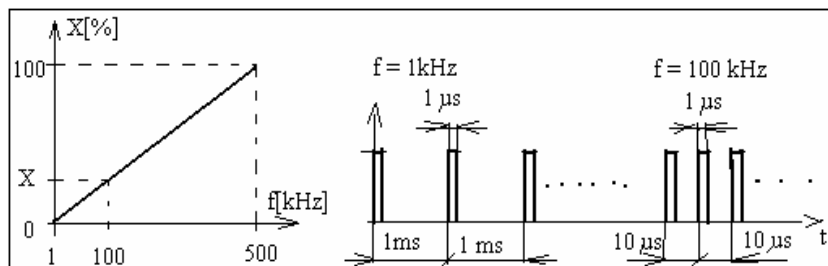
Szczególne miejsce w mechatronice zajmują sygnały impulsowe. Mogą one być generowane, np. z czujników optoelektronicznych, zegarów systemu, bądź jako informacje o wartości sygnałów. Ostatnie zaś mają najczęściej modulowaną szerokość (PWM) lub częstotliwość (PFM). Świadczy to, że szerokość impulsu może odpowiadać pewnej wartości sygnału. Niech, np. generator generuje impulsy co 100 ms. Założyć można, że 0 % -wej wartości sygnału odpowiadać będzie, np. impuls o szerokości 0.1 ms natomiast 100 % -wej wartości sygnału odpowiadać będzie impuls o szerokości 50 ms. Każda wartość sygnału zostanie przetworzona na impuls o odpowiedniej szerokości. Dla sygnału o wartości, np.

12% będzie to impuls o szerokości 6.088 ms. Odpowiednią ilustracją jest rys. 7.



Rys. 7. Ilustracja konwersji sygnału do postaci impulsu o modulowanej szerokości

Podobnie jest z modulacją częstotliwościową sygnałów. Parametr informacji to impulsy o stałej szerokości, ale o częstotliwości zależnej od wartości mierzonego sygnału. Mogą to być impulsy o czasie trwania $1 \mu\text{s}$, ale częstotliwości zmiennej w zakresie od 1 kHz do 500 kHz. Jeśli przyjąć, że 0% – wej wartości mierzonego sygnału odpowiada częstotliwość podstawowa 1 kHz, natomiast 100% - wej wartości tego sygnału odpowiadają impulsy o częstotliwości 500 kHz, to gdy generowane są impulsy, np. o częstotliwości 100 kHz należy się spodziewać, że mierzony sygnał ma wartość równą 19.82% (rys. 8).



Rys. 8. Modulacja częstotliwościowa sygnału

Powinieneś samodzielnie obliczyć, dlaczego wartość sygnału $x = 19.82 \%$, gdy $f = 100 \text{ kHz}$.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonywania ćwiczeń.

1. Jakie cechy ma sygnał analogowy?
2. Co oznaczają: treść fizyczna i parametr informacji sygnału?
3. Czym charakteryzuje się sygnał dyskretny i jakie ma źródła?
4. Jakie cechy posiada sygnał cyfrowy?
5. Od czego zależy dokładność informacji w systemach cyfrowych?
6. Ile poziomów kwantyzacji ma 10-bitowy sygnał cyfrowy?
7. Na czym polega konwersja sygnału analogowego do postaci cyfrowej?
8. Na czym polega modulacja PWM?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykorzystując sterowane źródło napięcia stałego, zaprojektuj i zbuduj prosty 4-bitowy przetwornik A/D z użyciem wybranej metody.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) określić zakres zmian napięcia,
- 2) określić zbiór elementów przetwornika, adekwatnych do metody przetwarzania,
- 3) zbudować 4-bitowy przetwornik A/D i dokonać jego analizy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja do ćwiczenia z opisami używanych elementów,
- elementy do budowy prostych przetworników A/D,
- przetworniki scalone,
- sprzęt pomiarowy: oscyloskop, generator, zestawy wskaźników diodowych,
- zadajnik sygnałów sterujących, zasilacz prądu stałego.

Ćwiczenie 2

Zaprojektuj i zbuduj prosty przetwornik D/A.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) narysować schemat blokowy układu przetwornika D/A,
- 2) z elementów wskazanych przez prowadzącego zbudować przetwornik,
- 3) przeprowadzić badania charakterystyki statycznej przetwornika.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja do ćwiczeń z opisami,
- elementy do budowy prostych przetworników,
- miernik napięcia,
- zasilacz prądu stałego.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- | | Tak | Nie |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) wyjaśnić zasadę modulacji częstotliwościowej sygnałów? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) dokonać konwersji zapisu sygnału analogowego na postać cyfrową? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) scharakteryzować sygnał analogowy i podać kilka jego przykładów? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) wyjaśnić zasadę modulacji szerokości impulsu sygnałów? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) wskazać cechy sygnałów cyfrowych w urządzeniu mechatronicznym? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.3. Rodzaje, budowa, funkcje i parametry sterowników PLC

4.3.1. Materiał nauczania

Sterowniki programowalne PLC (Programmable Logic Controllers) są komputerami przemysłowymi, które pod kontrolą systemu operacyjnego czasu rzeczywistego:

- **zbierają pomiary** za pośrednictwem modułów wejściowych z analogowych i dyskretnych czujników oraz urządzeń pomiarowych,
- **transmitują dane** za pomocą modułów i łącz komunikacyjnych,
- **wykonują programy aplikacyjne** na podstawie przyjętych parametrów i uzyskanych danych o sterowanym procesie lub maszynie,
- **generują sygnały sterujące** zgodnie z wynikami obliczeń tych programów i przekazują je poprzez moduły wyjściowe do elementów i urządzeń wykonawczych,
- **realizują funkcje diagnostyki** programowej i sprzętowej.

Wartości pomiarów zmiennych procesowych są **wejściami sterownika**, zaś obliczone zmienne sterujące stanowią **wyjścia sterownika**.

Głównym zadaniem sterownika jest więc reagowanie na zmiany wejść oraz obliczanie wyjść według zaprogramowanych reguł sterowania lub regulacji. Reakcja ta może być zależna od wyników operacji arytmetyczno-logicznych wykonanych dla aktualnych wartości wejść sterownika, jego zmiennych wewnętrznych oraz od zaprogramowanych warunków czasowych. Może ona także zależeć od operacji wykonanych na danych transmitowanych w sieciach łączących wiele elementów pomiarowych, sterowników, regulatorów, czy też komputerów.

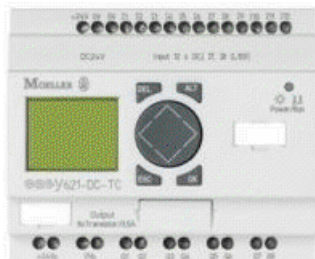
Ze względu na architekturę sterowniki PLC dzieli się na:

- kompaktowe,
- modułowe.

Sterowniki kompaktowe należą do tzw. rodziny Micro (np. GE Fanuc, Easy) i charakteryzują się sztywną architekturą i małymi wymiarami. W jednej obudowie znajduje się tu zasilacz, CPU oraz niewielka liczba wejść i wyjść cyfrowych, rzadziej analogowych. Czasem występuje także wejście szybkiego licznika. Przeznaczone są głównie do sterowania niewielkimi urządzeniami lub aparatami.

Poniżej (rys.9) przedstawiony został jeden z reprezentantów tej rodziny.

Sterownik ten zasilany jest napięciem 24V DC i ma zegar czasu rzeczywistego, wyświetlacz i klawiaturę umożliwiającą programowanie bez programu na PC- ta. Wyposażony jest w oprogramowanie opcjonalne **EASY-SOFT** lub **EASY-SOFT-PRO** i kabel do połączenia z PC-tem: **EASY-PC-CAB**. Możliwe jest dołączanie rozszerzeń we/wy.



- Zasilanie - **24VDC**
- Liczba wejść cyfrowych 24 VDC - **12**
- Liczba wejść analogowych 0-10VDC - **2**
- Liczba wyjść tranzystorowych 24VDC - **8**
- Dostępnych linii programu - **121**
- Elementów w linii programu - **4**

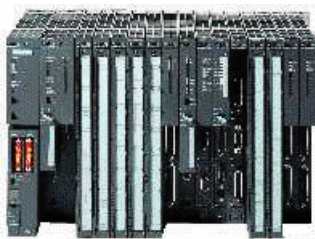
Rys. 9. Wygląd sterownika serii EASY

W przypadku złożonych zadań sterowania o głębokości przetwarzania powyżej 100 DI/DO najczęściej wykorzystuje się **sterowniki o budowie modułowej**.

Do zamontowania takiego sterownika niezbędna jest płyta łączeniowa (CPU baseplate), zwana także kasetą (rack), która posiada gniazda (slots) do podłączenia wybranych modułów, w tym dwóch niezbędnych: zasilacza PWR (PoWeR Supply) oraz modułu jednostki centralnej CPU. Zasilacz należy podłączyć do źródła napięcia 120/240 VAC, ale często też stosuje się zasilacze podłączone do źródła 12/24/48 VDC. Pozostałe gniazda można wykorzystać do włączenia innych modułów sterownika. Najnowsze konstrukcje zakładają instalowanie modułów bezpośrednio na szynie montażowej DIN i łączenie ich ze sobą łączami zatraskowymi. Podstawowe moduły, najczęściej wykorzystywane, to:

- moduły wejść i wyjść dwustanowych DI, DO;
- moduły wejść i wyjść analogowych AI, AO;
- moduł szybkiego licznika HSC (High – Speed Counter) do obsługi wejść dwustanowych zmieniających się zazwyczaj nie szybciej niż 100 kHz, a pochodzących najczęściej z tzw. enkoderów, generujących impulsy o liczbie proporcjonalnej do obrotu obsługiwanego osi;
- moduł pozycjonowania osi APM (Axis Positioning Module), który zapewnia obsługę sygnałów generowanych przez enkodery z możliwością doboru profilu prędkości oraz ograniczenia przyspieszeń dla łagodnego rozruchu i zatrzymywania napędów, zasilanych przez przetwornice częstotliwości;
- moduł komunikacyjny CCM (Communications Coprocessor Module) z dwoma łączami szeregowymi RS-232 i RS-422/485 z określonymi protokołami komunikacyjnymi;
- moduł komunikacyjny sieci sterownikowych do połączenia sterowników w sieci lokalnej;
- moduł kontrolera sieci do zapewnienia dodatkowych funkcji kontrolnych sieci;
- moduł komunikacyjny sieci Ethernet, który stanowi łącze między sterownikami i siecią Ethernet TCP/IP LAN;
- moduł programowalnego koprocatora PCM (Programmable Coprocessor Module), wyposażony zwykle w koprocetor, pamięć EPROM i podtrzymywaną bateryjnie pamięć RAM. Umożliwia on programowanie funkcji specjalnych w językach wyższego poziomu MegaBasic lub w języku C. Moduł posiada łącza szeregowo i może być wykorzystywany do programowania niestandardowych protokołów komunikacyjnych. Często też spełnia funkcje buforowania przetworzonych danych.

Przykładem sterownika modułowego może być produkt firmy SIEMENS, sterownik SIMATIC S7-400 (rys. 10). Może on być stosowany do realizacji skomplikowanych funkcji sterowania oraz do automatyzacji dużych obiektów technologicznych. S7-400 dostępny jest w dwóch wersjach, w wersji standardowej i odpornej na uszkodzenia – „fault tolerant”.



Rys. 10. Wygląd sterownika SIMATIC S7 – 400 f-my SIEMENS

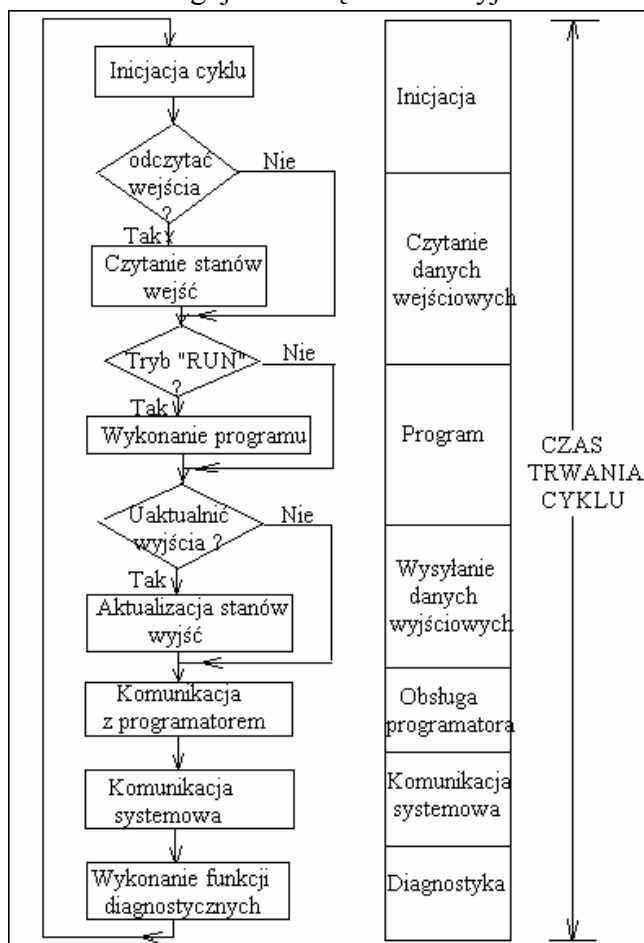
Charakterystyka S7-400

- max. liczba I/O cyfrowych: 131056/131056
- max. liczba I/O analogowych: 8192/8192
- max. pamięć programu: 4 Mbytes
- komunikacja: MPI, PROFIBUS, Ethernet
- bardzo krótki czas wykonania instrukcji
- konstrukcja bez wentylatora
- duży wybór procesorów, modułów I/O, opcji komunikacyjnych, modułów funkcyjnych

- możliwość pracy wieloprocesorowej
- interfejsy do systemów IT i sieci WWW

Zasada działania sterowników PLC

Podstawową zasadą pracy sterowników jest praca cykliczna (rys.11), w której sterownik wykonuje kolejno po sobie pojedyncze rozkazy programu w takiej kolejności, w jakiej są one zapisane w programie. Na początku każdego cyklu program odczytuje "obraz" stanu wejść sterownika i zapisuje ich stany (obraz wejść procesu). Po wykonaniu wszystkich rozkazów i określeniu (wyliczeniu) aktualnego dla danej sytuacji stanu wyjść, sterownik wpisuje stany wyjść do pamięci będącej obrazem wyjść procesu, a system operacyjny wysterowuje odpowiednie wyjścia, sterujące elementami wykonawczymi. Tak więc wszystkie połączenia sygnałowe spotykają się w układach (modułach) wejściowych sterownika, a program śledzi ich obraz i reaguje zmianą stanów wyjść w zależności od algorytmu.



Rys 11. Fazy cyklu programowego sterownika PLC [3]

W cyklu wykonywane są następujące działania:

1. Inicjacja cyklu.
2. Czytanie sygnałów wejściowych.
3. Wykonanie programu użytkownika.
4. Aktualizacja sygnałów wyjściowych.
5. Transmisja danych.
6. Komunikacja systemowa.
7. Wykonanie funkcji diagnostycznych.

Konstrukcja mechaniczna

Integralnymi elementami S7-400 są: magistrala komunikacyjna–„backplane”, zasilacz, procesor CPU z interfejsami komunikacyjnymi do modułów rozproszonych, moduły sygnałowe do obsługi wejść i wyjść dwustanowych oraz analogowych, procesory komunikacyjne, moduły funkcyjne.

Schemat blokowy sterownika PLC

Sterownik PLC zawiera (rys.12):

- jednostkę centralną - procesor (CPU),
- pamięć programu,
- układy wejścia i wyjścia (WE/WY).

System operacyjny określa **sposób przydziału zasobów pamięci sterownika**, dzieląc dostępną pamięć systemu na trzy klasy:

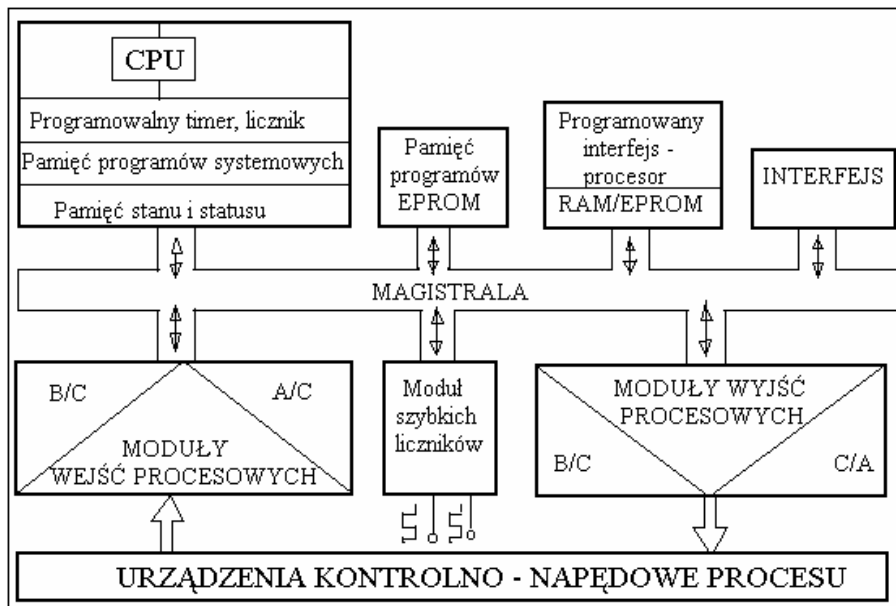
Pamięć danych użytkownika – dla zmiennych danych, które podlegają modyfikacji w trakcie wykonywania programu.

Pamięć konfiguracji systemu – do przetwarzania tablic danych systemu takich jak mapa WE/WY i wartości nastaw sterownika. Informacja o konfiguracji określa następujące zagadnienia:

- tryb pracy sterownika PLC - tj. samodzielna jednostka centralna, lub jako rozszerzenie;
- parametry portów komunikacyjnych PLC;
- liczbę i zakres obszarów pamięci WE/WY (I/O) obsługiwanych PLC.

Pamięć programu użytkownika - w której jest tworzony i poddawany edycji program logiczny. Pamięć programu użytkownika jest podzielona na dwa segmenty:

- układ logiczny drabinkowy przeznaczony do zastosowań standardowych;
- układ logicznego podprogramu.



Rys. 12. Struktura zespołów funkcjonalnych sterownika [3]

W jednostce centralnej znajduje się również pamięć Flash, w której rezyduje system operacyjny sterownika PLC. Zawartość pamięci Flash nie wymaga podtrzymania baterijnego.

System operacyjny znajdujący się w pamięci Flash stanowi zbiór programów nadzorczych, które określają tożsamość sterownika PLC poprzez:

- określenie języka, w którym napisano program użytkowy - np. logika drabinkowa;
- przydzielenie zasobów pamięci jednostki centralnej określonym celom, określenie struktury, w jakiej sterownik PLC przechowuje w pamięci dane i operuje nimi.

Sterownik PLC może zostać skonfigurowany do pracy w jednym z trzech trybów:

- tryb samodzielny - sterownik działa jako wydzielony programowalny system sterowania zarządzający własnym kompletem wejść/wyjść;
- tryb centralny – sterownik działa jako jedyny sterownik w połączeniu rozszerzającym WE/WY, którego jednostka centralna CPU może zarządzać zasobem WE/WY należących do wszystkich połączonych ze sobą sterowników;

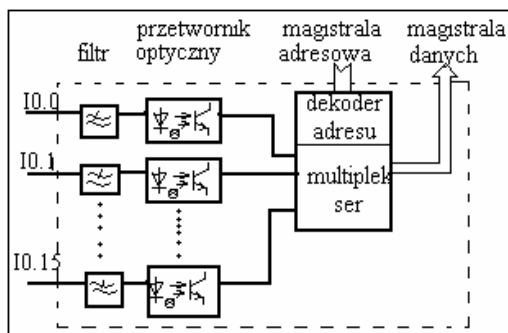
- tryb podporządkowany - sterownik działa jako sterownik w połączeniu rozszerzającym WE/WY, który zezwala, aby niektóre albo wszystkie jego WE/WY były dostępne i zarządzane przez sterownik centralny uczestniczący w połączeniu.

Pamięć systemowa zawiera zmienne, nazywane także operandami, na których wykonywane są operacje programu. Zmienne te zbierane są w wydzielone obszary, nazywane obszarami operandów. Wielkość tych obszarów zależy od zastosowanego CPU.

Operandy CPU:

- zmienne wejściowe – **I** (ang. **Input**): dostarczane jako argumenty przetwarzania programowego przez moduły wejściowe,
- zmienne wyjściowe – **Q** (ang. **Quit**): argumenty użyte w celu zwrócenia wyniku przetwarzania programowego przez moduły wyjściowe,
- zmienne markujące – **M** (ang. **Marker**): zmienne wewnętrzne informujące o stanie przetwarzania,
- zmienne czasowe – **T** (ang. **Timer**): generowane przez bloki funkcyjne wykorzystywane do realizacji uwarunkowań czasowych lub odmierzenia czasu,
- zmienne licznikowe – **C** (ang. **Counter**): przetwarzane przez bloki funkcyjne realizujące programowo liczenie zdarzeń (dodawanie i odejmowanie).

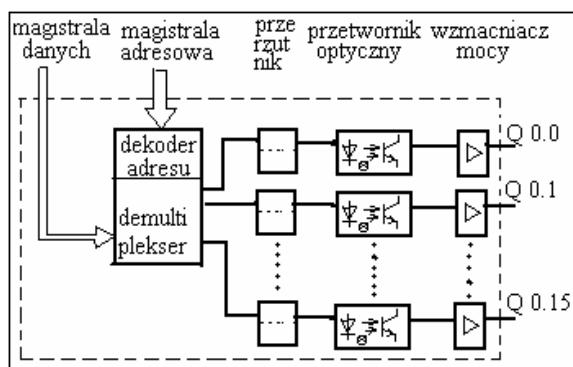
Część wejściowa sterownika podzielona jest na moduły obejmujące przeważnie 8, 16 lub 32 wejść binarnych (rys. 13). Moduł wejściowy zawiera układy elektroniczne, zamieniające sygnały pochodzące z urządzeń zewnętrznych na sygnały logiczne akceptowane przez sterownik. Mogą to być, np. dzielniki napięć z dodatkowymi filtrami RC dla tłumienia zakłóceń. Moduły wejść prądu stałego wyposażone są dodatkowo w diody chroniące właściwą polaryzację (najczęściej “ze wspólnym plusem”), a moduły wejść prądu przemiennego – w mostkowe układy prostownicze.



Rys. 13. Schemat podłączeń wejść [5]

Dla izolacji potencjałowej obwodów wejściowych i magistrali sterownika stosowane są optoizolacje (fotodioda – fototranzystor). Stan poszczególnych bitów bufora danych modułu wejściowego sygnalizowany jest diodami LED. Multiplexer sterowany jest przez dekodery adresów.

Część wyjściowa sterownika podzielona jest też na moduły obejmujące 8 lub 16 wyjść binarnych (rys. 14). Moduł wyjściowy zawiera układy wzmacniające, np. łącznik tranzystorowy dla obwodów wyjściowych prądu stałego (np. 24VDC, 200 mA) lub łącznik triakowy dla bezpośredniego wysterowania obwodów wyjściowych z obciążeniem prądowym, indukcyjnym i pojemnościowym (np. 50 Hz, 230 VAC).



Rys. 14. Schemat podłączeń wyjść [5]

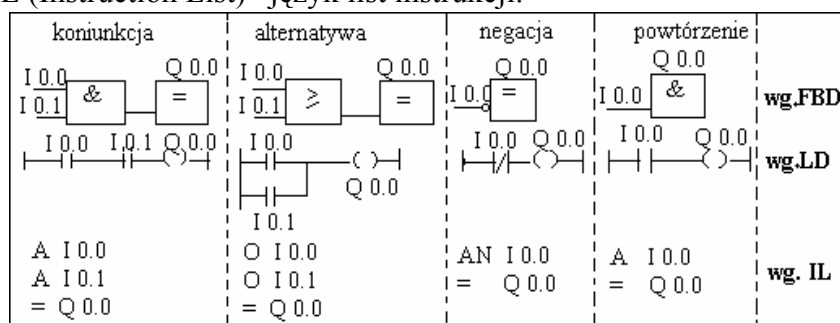
Stan poszczególnych wyjść modułu określa demultiplikser sterowany przez CPU sterownika. W dekoderni adresów zostaje odkodowany adres wybranego przez mikroprocesor wyjścia i odpowiednia wartość binarna przesłana z magistrali danych przez demultiplikser do układów wyjściowych modułu.

Podstawowe funkcje sterownikowe

A. Funkcje logiczne.

Podstawowymi operatorami służącymi do realizacji funkcji logicznych są operatory: **I (AND)** – koniunkcji, **LUB (OR)** – alternatywy, **NIE (NOT)** – negacji, **TAK** – powtórzenia (rys. 15). Operacje zapisywane są symboliką językową:

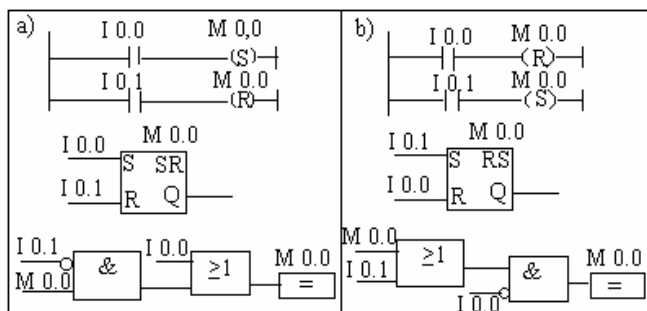
- FBD (Function Block Diagram) – język schematów blokowych;
- LD (Ladder Diagram) – język schematów drabinkowych;
- IL (Instruction List) – język list instrukcji.



Rys. 15. Podstawowe operacje logiczne w zapisie symbolicznym [5]

B. Przerzutniki SR i RS.

Przerzutniki bistabilne SR i RS zostały zaliczone do funkcji przekaźnikowych (relay functions), ponieważ są one realizowane w drabinkowym schemacie za pomocą pary cewek sprzężonych: S (Set – ustawiająca) i R (Reset – kasująca) przypisanych do jednej zmiennej binarnej. Cewki te mogą być także z zapamiętywaniem stanu (retentive set coil, retentive reset coil). Różnica w działaniu przerzutników SR i RS objawia się tylko wtedy, gdy oba wejścia przerzutnika są w stanie ON. W schemacie drabinkowym różnica w realizacji obu przekaźników polega na zmianie kolejności obwodów. Stan obwodu późniejszego w realizacji (niższego w schemacie drabinkowym) jest dominujący (rys.16).



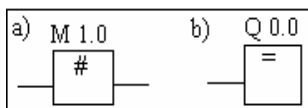
Rys. 16. Realizacja funkcji przerzutnika stanu markera M 0.0: a) SR, b) RS [5]

C. Operacje wprowadzania i przekazania.

Operator wprowadzania umożliwia przepływ informacji z pamięci do akumulatora (akumulatory to dwa rejestry procesora specjalnego przeznaczenia, wykorzystywane jako pamięć pośrednia, gdzie znajdują się wartości argumentów, na których procesor ma wykonać operacje i do tych rejestrów procesor wpisuje wyniki wykonanych operacji).

W trakcie wprowadzania odpowiedni obszar pamięci jest kopiowany do 1-szego akumulatora. Jednocześnie poprzednia wartość 1-szego akumulatora jest kopiowana do 2-ego akumulatora. Poprzednia zawartość 2-ego akumulatora jest tracona. Obszar pamięci, z którego ma być wykonane kopiowanie jest wskazywany przez argument operatora wprowadzenia (np. L IW 10, co oznacza: wprowadź 10-te słowo wejść). W przypadku wprowadzenia obszaru, który nie wypełnia w całości akumulatora pozostałe bity zostają wypełnione zerami. **Operator przekazania** umożliwia przepływ informacji z akumulatora do pamięci. W trakcie przekazania zawartość akumulatora 1 jest kopiowana do odpowiedniego obszaru pamięci. Obszar pamięci, do którego ma być skopiowana zawartość akumulatora jest wskazywany przez argument operatora przekazania

(np. T QW 7, co oznacza: przekazanie do 7-ego słowa wyjść). Symbole operacji wprowadzania i przekazania przedstawia rys. 17.

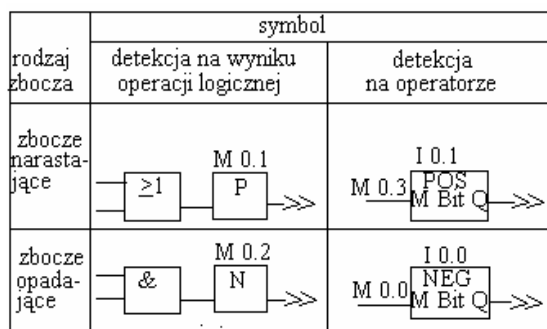


Rys. 17. Symbole operacji: a) wprowadzania, b) przekazania [5]

D. Detekcja zbocza sygnału.

Za pomocą detekcji zbocza można uchwycić zmiany stanu sygnału. Zbocze narastające występuje przy zmianie wartości zmiennej logicznej z 0 na 1, w przeciwnym przypadku występuje zbocze opadające. Detekcja zbocza możliwa jest zarówno na wyniku operacji logicznej jak i na operatorze (w tym przypadku wynik detekcji poprzedza wykonanie operacji logicznej). Elementy wykorzystywane dla detekcji przedstawia rys. 18.

Elementy detekcji można wykorzystać również do pamiętania wartości sygnałów.



Rys. 18. Elementy detekcji zbocza sygnału [5]

E. Czasomierze.

Zależności czasowe (rys.19) można programować za pomocą następujących operatorów:

start do	sygnał startowy	FBD	IL
tworzenia impulsu			L <wartość czasu> SP<operand>
tworzenia impulsu z przedłużeniem			L <wartość czasu> SE<operand>
załączania z opóźnieniem			L <wartość czasu> SD<operand>
załączania z opóźnieniem i zapamiętaniem			L <wartość czasu> SS<operand>
wyłączenia z opóźnieniem			L <wartość czasu> SF<operand>

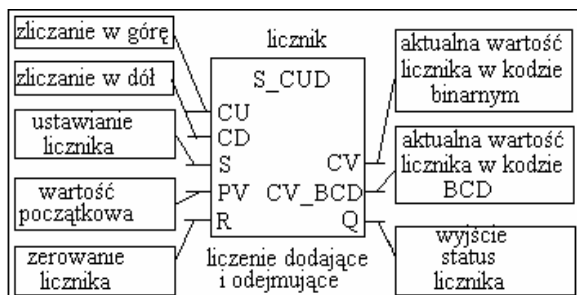
SP - czasomierz impulsowy (Pulse Timer),
SE - czasomierz impulsowy z przedłużeniem (Extended Pulse Timer),
SD - czasomierz załączający z opóźnieniem (On-Delay Timer),
SS - czasomierz załączający z opóźnieniem z zapamiętaniem (Stored On-Delay Timer),
SF - czasomierz wyłączający z opóźnieniem (Off-Delay Timer),
R - zerowanie czasomierza.

Rys. 19. Funkcje czasowe (TV – wartość czasu)

Czasomierz zostaje uruchomiony po zmianie wyniku operacji logicznej poprzedzającej operator startu. Czasomierz wyłączający z opóźnieniem (SF) odmierza czas, gdy wynik operacji logicznej zmienia się z 1 na 0 (zbczce opadające), wszystkie pozostałe – gdy zmienia się z 0 na 1 (zbczce narastające). Wartość odmierzanego czasu wprowadzana jest do czasomierza argumentem TV (Time Value).

F. Liczniki.

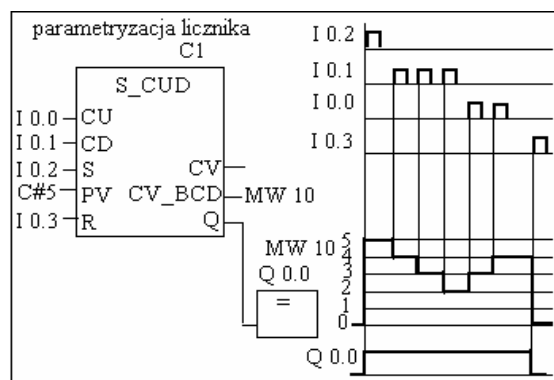
Funkcje liczące, nazywane w technice sterownikowej licznikami, umożliwiają liczenie impulsów. Licznik opisywany jest – w symbolicznej komórce – nazwami operatorów wejść i wyjść (rys. 20). Adresuje się w postaci absolutnej lub symbolicznej, np. C4 lub “Liczba elementów 1”.



Rys. 20. Licznik – funkcje [5]

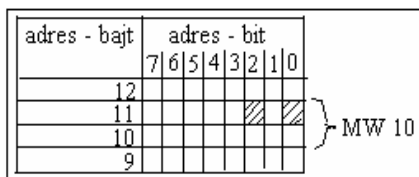
Znaczenie wejść i wyjść: **CU** (Count Up) - licz w górę; **CD** (Count Down) - licz w dół; **PV** (Programmed Value) - wprowadzona początkowa wartość liczenia np. C#50; **S** (Set) - ustawienie licznika; **R** (Reset) - zerowanie licznika; **CV/CV_BCD** (Count Value) - bieżąca wartość licznika w kodzie BCD lub binarnym ; **Q** - status licznika (wartość Q=1, jeśli bieżąca wartość licznika jest większa niż 0).

Przykładowy diagram pracy licznika ukazuje rys. 21.



Rys. 21. Diagram pracy licznika [5]

Rys. 22 ukazuje zapamiętanie wartości liczbowej 5 w MW 10 (= MB 10 i MB 11).



Rys. 22. Zapamiętanie wartości liczbowej [5]

Wyjaśnienie: W oznacza słowo (ang: Word), czyli 16-bitową liczbę całkowitą, zapisaną w kodzie dopełnienia do dwóch i znajdującą się w zakresie od -32768 do $+32767$. Musi ona być zapisana w dwóch bajtach. Jeśli wskazujemy dla wartości 5 adres 10, to zarezerwowane zostaną dwa bajty: jeden na młodszy bajt, drugi na starszy bajt słowa. W tym przypadku adresem starszego bajtu jest 10, adresem młodsze bajtu jest 11. W bajcie 11-ym zostanie wpisana binarnie 5, czyli 00000101.

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonywania ćwiczeń.

1. Jakie główne zadania realizuje sterownik?
2. Jakie działania cyklicznie wykonuje sterownik?
3. Jakie podstawowe moduły zawiera sterownik?
4. Co zawiera pamięć systemowa CPU sterownika?
5. Do czego służy moduł szybkich liczników sterownika?
6. Do jakich trybów pracy skonfigurować można sterownik?
7. Jakie układy elektroniczne zawiera moduł wejściowy?
8. Jak realizowane są funkcje przekaźnikowe w sterowniku?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zapoznaj się z budową, działaniem i danymi technicznymi modułów we/wy sterownika.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z opisem sterownika wskazanego przez prowadzącego,
- 2) narysować schemat budowy i działania sterownika,
- 3) przeanalizować możliwości modułów wejściowych i wyjściowych sterownika.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna wskazanego sterownika,
- literatura zgodnie z punktem 6 Poradnika dla ucznia, , poz.: [3], [5].

Ćwiczenie 2

Zapoznaj się ze strukturą funkcjonalną sterownika.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) poznać podstawowe bloki funkcyjne sterownika wskazanego przez prowadzącego,
- 2) poznać metodę parametryzacji czasomierzy i liczników sterownika.

- Wyposażenie stanowiska pracy:
- dokumentacja techniczna wskazanego sterownika,
 - komputer PC, z odpowiednim dla sterownika oprogramowaniem.

4.3.4. Sprawdzenie postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1) określić przeznaczenia podstawowych modułów sterownikowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić zasadę działania sterowników PLC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) scharakteryzować realizację operacji wprowadzania i przekazywania danych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) rozróżnić i realizować operacje czasowe procesu z użyciem sterownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) rozróżniać i realizować operacje licznikowe sterownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

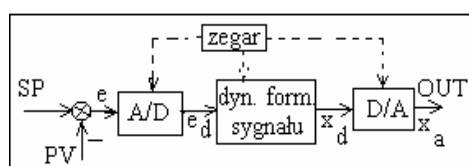
4.4. Regulatory w urządzeniach i systemach mechatronicznych

4.4.1. Materiał nauczania

Jednym z podstawowych zadań układów lub systemów mechatronicznych jest regulacja określonej grupy parametrów charakteryzujących pewien proces technologiczny. Należy założyć, że na proces oddziałują zakłócenia. Aby parametry spełniały narzucone technologią kryteria muszą być poddane procesowi kontrolnemu przez regulatory, które w przypadku oddalania się od celu regulacji (w efekcie pojawiających się zakłóceń), powinny sygnałami sterującymi oddziaływać korekcyjnie na przebieg procesu.

Przyjmując, że system mechatroniczny jest całością i jedne jego elementy powinny wzajemnie komunikować się z drugimi (niezbędność wymiany informacji), rolę kontrolerów przejmą urządzenia mikroprocesorowe: sterowniki lub regulatory cyfrowe. W poprzednim rozdziale, dotyczącym sterowników PLC, funkcja regulatora została celowo pominięta, chociaż posiada ją wiele sterowników. Do celów regulacji używa się przeważnie urządzeń, których główną funkcją jest realizacja w określonej strukturze i konfiguracji algorytmu regulacji. Nie oznacza to wcale, że takie urządzenie nie realizuje funkcji logicznych. Wyposażone jest również w logikę funkcyjną, ale pomocną w realizacji układów regulacji. Chociaż regulator w urządzeniu mechatronicznym zbudowany jest w oparciu o mikrokontroler, to używany może być w regulacji procesów ciągłych, np. w regulacji temperatury, przepływu, prędkości, położenia itd., których zmiany są ciągłymi funkcjami czasu. Zawdzięcza to wyposażeniu go w układy przetwarzające sygnały ciągłe na cyfrowe i odwrotnie.

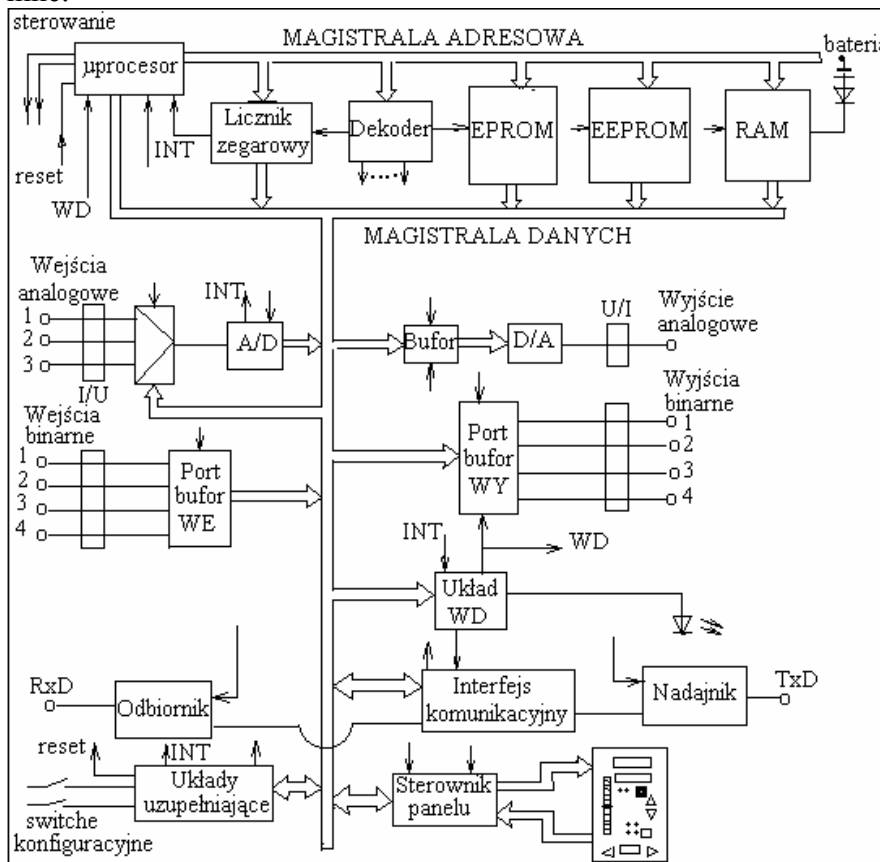
Regulatorem nazywa się urządzenie techniczne, służące do wytworzenia sygnału sterującego (OUT) na podstawie uchybu regulacji (e), tzn. różnicy między wartością zadaną sygnału regulowanego (SP) i aktualnie zmierzoną (PV) (rys. 23).



Rys. 23. Ogólny schemat blokowy regulatora cyfrowego [2]

Analogowy sygnał uchybu: $e = SP - PV$, przetworzony zostaje w przetworniku A/D (analogowo-cyfrowym) na sygnał cyfrowy e_d . Sygnał ten jest następnie dynamicznie formowany w cyfrowy sygnał sterujący x_d . Z kolei sygnał x_d zostaje przetworzony na sygnał analogowy x_a w przetworniku D/A, sterujący obiektem.

Współcześnie produkowane regulatory mają architekturę uniwersalną, umożliwiającą zastosowanie ich w różnorodnych procesach i strukturach. Mogą być stosowane zarówno do regulacji ciągłej, jak też dwustawnej, trójstawnej, trójstawnej z zewnętrznym lub wewnętrznym sprzężeniem zwrotnym. Odpowiedni algorytm pracy dobierany jest z bogatej biblioteki zawierającej m.in. algorytmy: PID, P z nastawianym punktem pracy, PID NL1 (algorytm nieliniowy, gdzie $k_p = f(e)$), PID NL2 (algorytm nieliniowy, gdzie $T_i = f(e)$), PID RATIO (algorytm regulacji stosunku), PID GAP (algorytm regulacji z nastawianą strefą nieczułości), algorytmy regulacji DDC (direct digital control) typu CM, CMA, SPC oraz inne.



Rys. 24. Struktura sprzętowa regulatora cyfrowego [4]

Na rys. 24 przedstawiono ogólny schemat sprzętowy regulatora cyfrowego w wersji odpowiadającej regulatorom wielofunkcyjnym. W jego skład wchodzi mikroprocesor, licznik zegarowy, dekodery systemowe, pamięć EPROM, RAM z podtrzymaniem baterijnym i EEPROM, układy wejść/wyjść analogowych i binarnych, interfejs komunikacyjny z nadajnikiem i odbiornikiem, sterownik panelu i panel operatora, układ kontrolny WD (watch-dog) oraz układy uzupełniające.

Pakiet procesora przetwarza sygnały analogowe na cyfrowe i dokonuje obróbki danych. Zawiera on:

A. Mikroprocesor wykonuje instrukcje programu, steruje przepływem danych i zarządza pozostałymi elementami. Składa się z ALU, układu rozpoznawania instrukcji, licznika programu oraz buforów magistrali adresowej i danych. Program rezyduje w pamięci EPROM. Mikroprocesor przez magistralę adresową podaje adres instrukcji, którą chce wykonać

a w odpowiedzi EPROM magistralą danych przekazuje jej treść. Magistralą danych są przekazywane również dane i wyniki z/do pozostałych elementów. Mikroprocesory regulatorów cyfrowych realizują przede wszystkim operacje arytmetyczne, a jako uzupełnienie operacje logiczne. Realizowany program może być przerywany w celu wykonania pilniejszych zadań lub obsługi niespodziewanych zdarzeń. Służą do tego sygnały przerwań - INT. Wytwarza je licznik zegarowy, przetwornik A/D, interfejs komunikacyjny, czujnik zasilania oraz sterownik panelu. Zasadnicze znaczenie ma przerwanie zegarowe, informujące procesor o upływie czasu. Dlatego mówi się o pracy w **czasie rzeczywistym**.

Regulator EFTRONIK X zawiera jednocukładowy specjalizowany 8-bitowy mikrokontroler SAB80535 firmy Siemens AG z wewnętrzną pamięcią RAM: 256 B, sześcioma 8 bitowymi portami WE/WY, 8-io wejściowymi przetwornikami 8 bitowymi ADC oraz układem WD.

B. Licznik zegarowy, który zlicza impulsy generowane przez oscylator kwarcowy i przy odpowiedniej ich liczbie wytwarza przerwanie. W regulatorach aparatowych następuje to co 10, 20 lub 50 ms. Liczników może być kilka (EFTRONIK X ma 3 liczniki 16 bitowe). Oprócz przerywania zegarowego generują impulsy wyznaczające szybkość komunikacji oraz obsługują te wejścia/wyjścia analogowe, w których stosuje się przetwarzanie częstotliwościowe.

C. Dekoder, wytwarzający sygnały uaktywniające pamięci, porty i pozostałe elementy układu, które wtedy przekazują lub odbierają dane. Podstawą tego są adresy i sygnały sterujące. W danej chwili tylko jeden element uzyskuje dostęp do magistrali.

D. Magistralę wewnętrzną, która w regulatorze aparatowym biegnie wzdłuż płyty głównej do złącz płyt układów WE/WY, sterownika panelu oraz interfejsu komunikacyjnego. Obejmuje ona magistralę danych i adresową, sygnały dekodera, linie sterujące, sygnały przerwań itp.

E. Pamięci:

- **Pamięć EPROM** to pamięć programu. W regulatorze cyfrowym EFTRONIK X pamięć ta zajmuje obszar 64 kB.
- **Pamięć RAM** z podtrzymaniem baterijnym, która mieści bazę danych roboczych z wartościami pomiarowymi, wynikami obliczeń, współczynnikami pomocniczymi itd. W regulatorze EFTRONIK X pamięć ta zajmuje obszar 32 kB.
- **Pamięć EEPROM**, która przechowuje dane konfiguracyjne i parametry. Wadą EEPROM jest długotrwały zapis, rzędu kilku ms na bajt, w czasie którego mikroprocesor musi być zablokowany. W regulatorze EFTRONIK X pamięć ta zajmuje obszar 8 kB.

Pakiet wejść analogowych (jeden dla kilku wejść) służy do dopasowania sygnałów z przetworników analogowych do zakresu napięć akceptowanego przez regulator, tzn. $(0 \div 5)$ V. Zawiera multiplexer łączący wejścia z przetwornikiem A/D. Sygnały obiektowe przechodzą najpierw przez obwody dopasowujące i filtry. Przetwornik A/D jest 10- lub 12-bitowy. Przetwarzanie może być realizowane także programowo poprzez wykorzystanie pomocniczych układów komparacyjnych.

Pakiet wyjść analogowych (jeden dla obu wyjść), służy do uzyskania dwu w pełni niezależnych, odseparowanych galwanicznie sygnałów wyjściowych lub/i prądowych regulatora. Przetworniki D/A są zwykle 10- lub 12-bitowe. Od strony magistrali poprzedzają je bufory zatrząskowe, do których mikroprocesor wpisuje dane.

Pakiet wejść/wyjść binarnych (jeden dla czterech wejść i jeden dla czterech wyjść) służy do obsługi sygnałów dwustanowych, którymi mogą być:

A. Wejścia dyskretne:

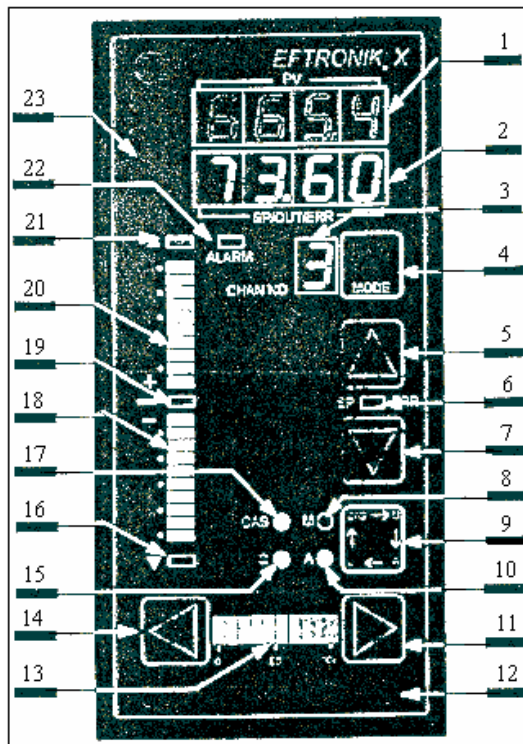
- napięciowe 16...25 V dc *
- napięciowe 3...5 V dc *
- zwarciove (zwarciwe odpowiednich styków złącza wejść dyskretnych powoduje podanie sygnału logicznego "1")

* wejścia dyskretne napięciowe posiadają pełną izolację galwaniczną;

B. Wyjścia dyskretne:

- przekaźnikowe (zestyk przełączny) dla obciążenia 24 V dc (ac), 230 V ac
- przekaźnikowe wysokiej mocy (zestyk zwierny) dla obciążeń 230 V ac, 1 A/fazę
- triakowe (optotriak) dla obciążenia 230 V ac, 1 A/fazę.

Pakiet operatorski połączony jest z pakietem procesora i wyposażony w elementy, służące do komunikacji z operatorem. Pulpit operatora ukazuje rys. 25 (dla EFTRONIKA X).



Rys. 25. Pulpit operatorski regulatora cyfrowego EFTRONIK X [7]

Opis wybranych elementów pulpitu operatorskiego:

1. Wyświetlacz (czerwony) wielkości mierzonej **PV**. W trybie „programowanie” pokazuje adres parametru.
2. Wyświetlacz (zielony) **OUT/SP/ERR** wyświetlający w trybie pracy, zależnie od sekwencji przycisku „**MODE**” wartość sygnału wyjściowego **OUT** lub wartość zadaną regulatora **SP** lub w trybie programowania wartość parametru.
3. Wyświetlacz (zielony) wyświetlający numer kanału regulacyjnego lub w trybie programowania symbol „**P**”.
4. Przycisk „**MODE**”, realizuje przełączanie trybu pracy regulatora (Praca/Programowanie).
- 5,7. Przyciski realizujące funkcje: w trybie pracy przewijania wyświetlanych na wyświetlaczu 2 wielkości; w trybie programowania zwiększanie/zmniejszanie wartości aktywnej cyfry adresu lub wartości parametru.
9. Przycisk **M/A/CAS/C** realizuje przełączanie regulatora na tryb sterowania ręcznego „**M**” (zapala się dioda 8), sterowania automatycznego „**A**” (zapala się dioda 10),

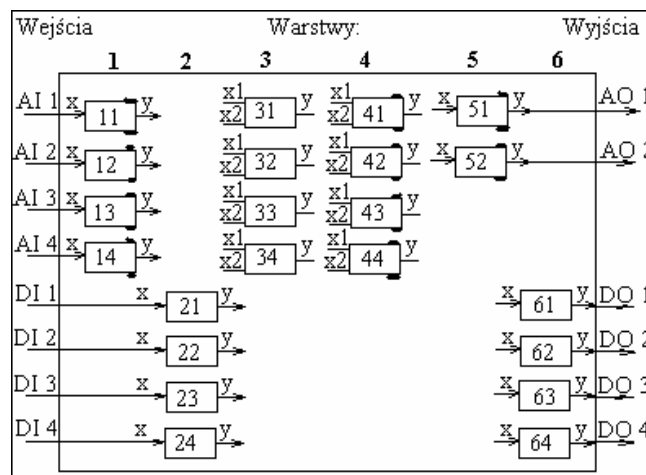
sterowania kaskadowego „CAS” (zapala się dioda 17) lub sterowania nadrzędnego „C” (zapala się dioda 15) z wartością zadaną SP wyliczoną przez zewnętrzny komputer.

11, 14. Przyciski służące odpowiednio do zwiększania lub zmniejszania sygnału wyjściowego regulatora.

Układ WD (watch-dog) co oznacza tzw. psa łańcuchowego, kontroluje ciągłość pracy procesora. Jeżeli układ ten jest rytmicznie adresowany, procesor uważa się za sprawny. Przerwanie adresowania oznacza awarię. Adresowanie może być wstrzymane przez sam procesor jeśli testy wykazują, że elementy nie reagują właściwie.

Struktura funkcjonalna regulatora

Oprogramowanie regulatora umożliwia realizację kilkudziesięciu elementarnych algorytmów. Dla uproszczenia programowania, algorytmy są podzielone na grupy, tzw. **WARSTWY** o numerach 1÷6. W regulatorze EFTRONIK X strukturę funkcjonalną tworzą 22 bloki ułożone w warstwy (rys. 26).



Rys. 26. Struktura funkcjonalna regulatora EFTRONIK X [7]

Bloki uporządkowane zostały wg indeksów: nr warstwy, nr kanału: np. 31 oznacza warstwę 3, kanał 1. Każdy blok ma określone wejścia i wyjścia, tzn. ich liczbę i rodzaj (analogowe, dyskretne). Każdy blok może realizować jeden z algorytmów, wybranych z biblioteki algorytmów dla danej warstwy w trakcie programowania. Wejścia bloków w warstwie 1 są bezpośrednio połączone z wyjściami przetworników A/D, wyjścia bloków w warstwie 5 są bezpośrednio połączone z wejściami przetworników D/A, w związku z tym analogowe sygnały wejściowe i wyjściowe muszą przechodzić przez odpowiednie bloki w tych warstwach.

Każdemu blokowi można przypisać pewien zestaw algorytmów, czyli programów napisanych, np. w języku C i rezydujących w pamięci. W fazie programowania regulatora operator może go przypisać do wybranego bloku i sparametryzować.

Warstwa 1 obejmuje bloki „**Wejścia analogowe**” i umożliwia: filtrację zakłóceń, deklarację zakresu pomiarowego, ustawienie alarmów tzw. technologicznych, realizację funkcji arytmetycznych jednej zmiennej, linearyzację termometrów PT 100, deklarację numeru wejścia dyskretnego, na którym generowany będzie alarm AL. i AH.

Warstwa 2 obejmuje bloki „Wejścia dyskretne” i umożliwia: filtrację i możliwość negacji sygnału wejściowego.

Warstwa 3 obejmuje bloki „Funkcje arytmetyczne dwu zmiennych” i umożliwia: działanie dodawania, odejmowania, dzielenia, mnożenia jak również realizuje klucze przełączane sygnałem z wejść dyskretnych lub/i sygnałem alarmu od toru pomiarowego, deklarację numeru wejścia dyskretnego za pośrednictwem, którego następuje przełączanie trybu pracy w określonym kanale (torze) $A \Leftrightarrow M$ oraz wybór funkcji integratora do impulsowego pomiaru przepływu z adresacją wyjścia dyskretnego, na którym generowane będą impulsy zliczane licznikiem zewnętrznym.

Warstwa 4 obejmuje bloki „Algorytmy regulacji” i umożliwia: deklarację typu regulatora, algorytmu regulacji, ustawianie parametrów regulatora i alarmu od odchyłki regulacji.

Warstwa 5 obejmuje bloki „Wyjścia analogowe” i umożliwia: ograniczanie sygnału wyjściowego wraz z sygnalizacją alarmową, działanie wprost i odwrotnie.

Warstwa 6 obejmuje bloki „Wyjścia dyskretne” i umożliwia: zanegowanie sygnału wyjściowego oraz ustawienie stanu logicznego wyjścia po zaniku zasilania.

Algorytmy regulacji

Algorytm jest ogólnie zbiorem przepisów postępowania – w technice komputerowej nazwą algorytm określa się w pełni określony ciąg instrukcji programowych, zgodnie z którym dane wejściowe przetwarzane są w dane wyjściowe.

W układach regulacji cyfrowej stosuje się najczęściej uniwersalny **algorytm PID**. Pośród różnych algorytmów regulacji cyfrowej o działaniu PID wyróżnia się:

- 1) **algorytm pozycyjny**,
- 2) **algorytm przyrostowy**.

Ad. 1. W układzie regulacji cyfrowej wykorzystującym algorytm PID sygnał sterujący ma być proporcjonalny do sumy odchyłki regulacji e , jej całki po czasie oraz jej pochodnej względem czasu. Znaczą to, że składowa proporcjonalna sygnału sterującego – P jest proporcjonalna do wartości odchyłki regulacji, składowa całkująca sygnału sterującego – I jest proporcjonalna do czasu trwania odchyłki regulacji, składowa różniczkująca sygnału sterującego – D jest proporcjonalna do prędkości odchyłki regulacji.

W układzie regulacji cyfrowej odchyłka regulacji nie jest wartością ciągłą w czasie, ale wartością dyskretną, dostępną w kolejnych chwilach czasu: $T_A, 2T_A, 3T_A, 4T_A, \dots, nT_A$ (określonych czasem próbkowania) jako wartość liczbowa – odpowiednio: $e_1, e_2, e_3, \dots, e_i$. Zamiast całkowania odchyłki regulacji wykorzystuje się w algorytmie cyfrowym sumowanie kolejnych wartości odchyłki, a zamiast różniczkowania – różnicę pomiędzy dwiema sąsiadującymi wartościami odchyłki. Ostatecznie, w chwili nT_A , otrzymuje się wartość wielkości sterującej regulatora – x_i .

$$x(i) - x(i-1) = k_p \times \left\{ e(i) + \frac{T_A}{T_i} \sum_{n=0}^i e(n) + \frac{T_d}{T_A} (e(i) - e(i-1)) \right\}$$

gdzie: x – wielkość sterująca; e – odchyłka regulacji; k_p – współczynnik wzmocnienia proporcjonalnego; T_i – czas zdwojenia; T_d – czas wyprzedzenia; T_A – okres próbkowania; i – indeks czasu; n – indeks sumowania.

Przykład odpowiedzi skokowej cyfrowego regulatora PID realizującego algorytm pozycyjny przedstawia rys. 27. W przykładzie tym wartość sygnału sterującego x w chwili iT_A wynosi:

$$x_p = k_p \times e(i)$$

w akcji proporcjonalnej:

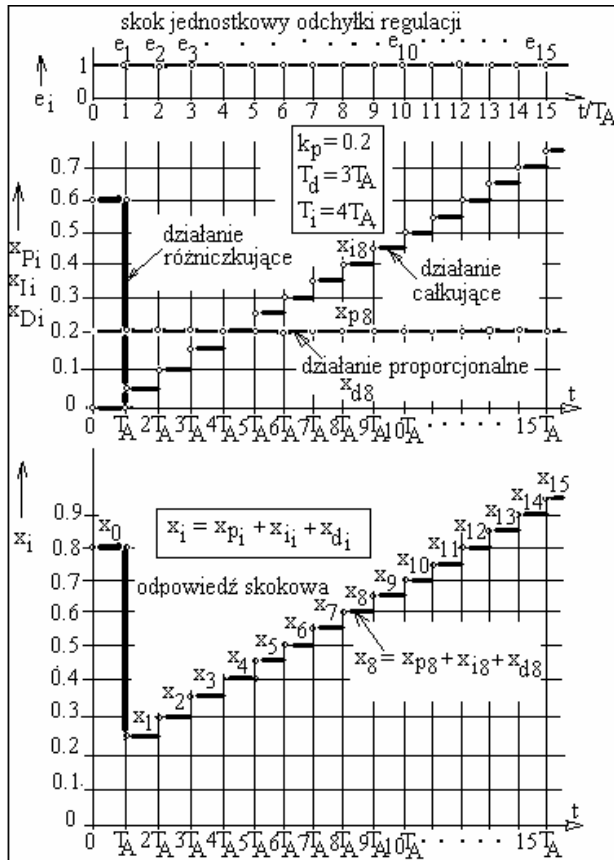
w akcji całkującej:

$$x_{I_i} = k_p \times \frac{T_A}{T_i} \times \sum_{n=0}^i e(i)$$

w akcji różniczkującej:

$$x_{D_i} = k_p \times \frac{T_d}{T_A} \times (e(i) - e(i-1))$$

Sygnal sterujący regulatora jest sumą akcji proporcjonalnej, całkującej i różniczkującej.



Rys. 27. Odpowiedź skokowa cyfrowego regulatora PID na wymuszenie $e(i)=1(i)$

Ad. 2. Zamiast obliczania pełnej wartości sygnału sterującego x_i stosuje się w praktyce obliczanie tylko przyrostu Δx_i , który następnie przesłany jest do pamięci i dodawany do przechowywanej w niej wartości x_{i-1} . Algorytm ten nazywany jest prędkościowym lub przyrostowym PID.

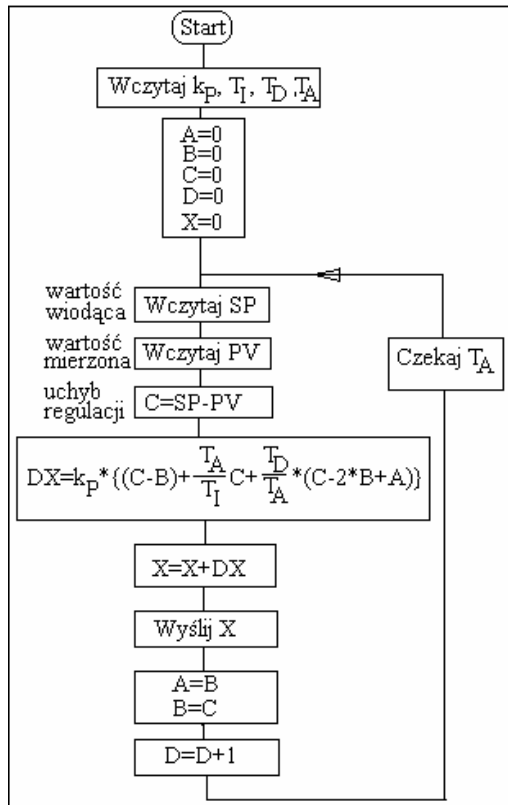
Równanie algorytmu przyrostowego PID:

$$x(i) - x(i-1) = k_p \times \left\{ (e(i) - e(i-1)) + \frac{T_A}{T_i} \times e(i) + \frac{T_d}{T_A} \times (e(i) - 2 \times e(i-1) + e(i-2)) \right\}$$

Blokowy schemat tego działania ukazuje rysunek 28. Ze schematu wynika, że wartość wielkości sterującej x powiększana jest w każdym cyklu obliczeniowym o Δx . Np. dla nastaw: $k_p = 0.2$; $T_i = 4T_A$; $T_d = 3T_A$ oraz $T_A = 1$ [sek] wartość sygnału sterującego przy uchybie wynoszącym $e(i) = SP - PV = 1$ (uchybie jednostkowy), zakładając, że przed chwilą $t=0$ sterowanie $x = 0$, to w chwilach następnych wynosiło:

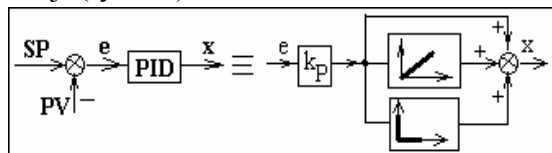
$$\begin{aligned} x(0) &= 0.2 \times (1 + 0.25 \times 1 + 3 \times 1) = 0.85 \\ x(1) &= 0.85 + 0.2 \times ((1-1) + 0.25 \times 1 + 3 \times (1-2+0)) = 0.40 \\ x(2) &= 0.4 + 0.2 \times ((1-1) + 0.25 \times 1 + 3 \times (1-2+1)) = 0.45 \\ x(3) &= 0.45 + 0.2 \times ((1-1) + 0.25 \times 1 + 3 \times (1-2+1)) = 0.50 \end{aligned}$$

$$x(4) = 0.50 + 0.2 * ((1-1) + 0.25 * 1 + 3 * (1-2+1)) = 0.55$$



Rys. 28. Schemat blokowy przyrostowego algorytmu PID [5]

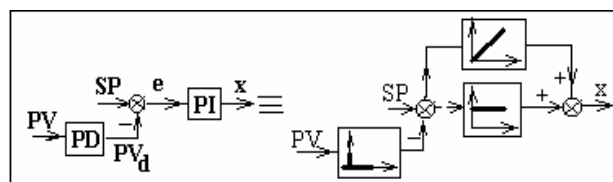
Instrukcjom wejściowym i wyjściowym programu, realizującego algorytm PID powinny być przyporządkowane adresy urządzeń peryferyjnych, np. numery kanałów wejściowych i wyjściowych. Regulacja odbywać się może w wielu strukturach regulatora. Jedną z nich jest struktura równoległa, gdzie uchyb regulacji jednocześnie powoduje zmiany poszczególnych akcji (rys. 29).



Rys. 29. Struktura równoległa regulatora PID

Struktura ukazana na rys. 29 może być używana tam, gdzie zmiany wartości wiodącej – SP są bardzo rzadkie (zmiany sygnału sterującego – x są wynikiem tylko zmian wartości mierzonej – PV). W przypadku, gdyby zmiany SP miały charakter skokowy i częsty, składowa pochodząca z akcji różniczkującej powodowałaby przy dużych wartościach czasu wyprzedzenia – T_d , wchodzenie przez sterowanie – x w stany ograniczeń lub nasycenia.

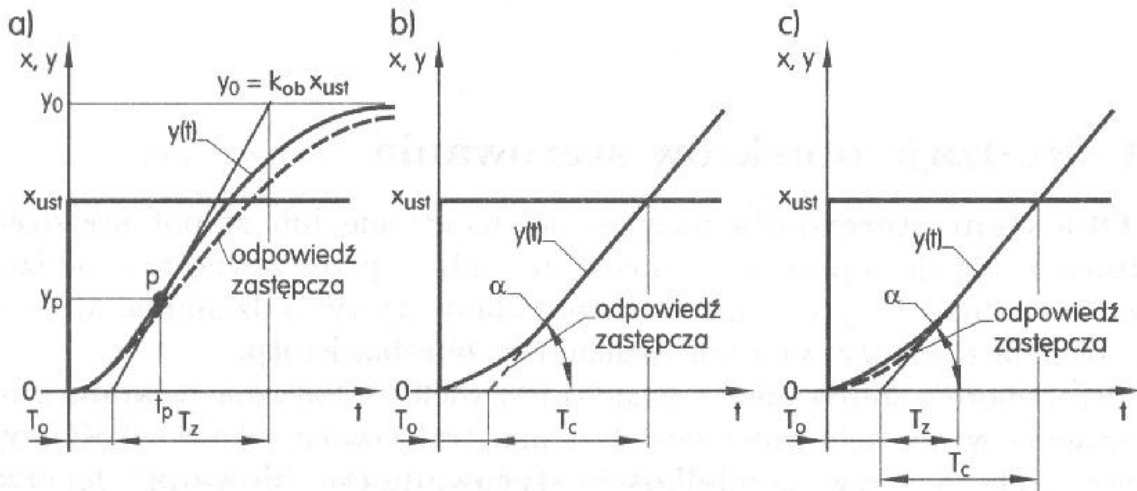
W przypadku, gdy wspomniane zmiany istotnie miałyby występować, proponowana jest inna struktura, mianowicie szeregowy układ regulatora PI i przystawki różniczkującej PD (rys.30)



Rys. 30. Struktura szeregowy przystawki PD i regulatora PI.

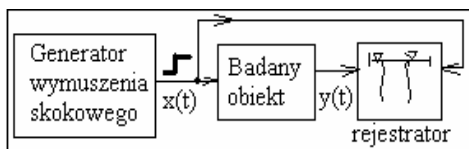
Dobór nastaw regulatorów PID

Ważnym zagadnieniem w regulacji jest wybór takich struktur i parametrów, które pozwolą osiągnąć dobrą jakość. W tym podpunkcie ograniczę się tylko do jednego sposobu, gdyż temat jest bardzo szeroki i przekraczałby ramy mojego poradnika. Przyjmijmy, że wybór nastaw będzie miał decydujące znaczenie dla jakości regulacji. Wyboru optymalnych nastaw dokonać można wg kryterium obiektu zastępczego. Jeżeli obiekt ma charakter statyczny (rys. 31a), to należy wyznaczyć jego wzmocnienie – k_{ob} , zastępczy czas opóźnienia – T_0 oraz zastępczą stałą czasową – T_z . Jeśli obiekt ma charakter astatyczny (rys.31b, c), to należy wyznaczyć jego zastępczy czas opóźnienia T_0 oraz zastępczy czas całkowania – T_c .



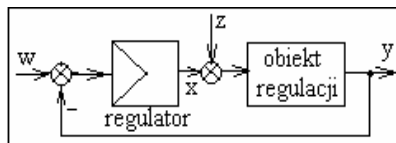
Rys. 31. Przebieg odpowiedzi na wymuszenie skokowe: a) obiektu statycznego, b), c) obiektu astatycznego

Badanie obiektu przeprowadzić można wg rys. 32.



Rys. 32. Schemat badania odpowiedzi skokowych obiektów

Kolejne pytanie, to z jakiej strony na układ regulacji będą oddziaływać wymuszenia. Mogą pojawiać się od strony wejścia regulatora (jako zmiany wartości wiodącej – w) lub też od strony wejścia obiektu (jako statystyczne zakłócenia – z). Przedstawia to rys. 33.



Rys. 33. Sposób oddziaływania wymuszeń

Jeżeli dysponujemy odpowiedzią skokową obiektu to możemy wyznaczyć jego parametry zastępcze. Dla obiektu statycznego wzmocnienie wyznacza się jako stosunek ustalonego przyrostu wielkości regulowanej - Δy_{ust} do odpowiadającej mu zmiany wymuszenia - Δx_{ust} .

$$k_{ob} = \Delta y_{ust} / \Delta x_{ust}$$

Aby wyznaczyć T_0 i T_z należy przez punkt przegięcia odpowiedzi skokowej (P) – rys 31a – poprowadzić styczną. Zaznaczyć należy punkt przecięcia stycznej z linią stanu początkowego odpowiedzi oraz jej asymptotą. Odcinek czasu między tymi punktami to zastępcza stała czasowa T_z . Czas, który mija od chwili wymuszenia do przecięcia stycznej

z linią stanu początkowego to zastępczy czas opóźnienia – T_0 , nazywany też czasem martwym. Teraz należy zdecydować, gdzie będą pojawiać się wymuszenia, na wejściu regulatora, czy na wejściu obiektu. Jeżeli regulacja ma mieć charakter stałowartościowy to decydujące znaczenie będą mieć wymuszenia na wejściu obiektu. Teraz należy zdecydować, czy w układzie regulacji dopuszczalna jest pewna ustalona odchyłka statyczna, czy też nie. Pomocna Ci będzie tabela 1. Musisz także zdecydować, czy przebieg przejściowy ma mieć charakter aperiodyczny (bez oscylacji), czy oscylacyjny. Jeśli już dokonałeś wyboru skorzystaj z odpowiedniego wiersza tabeli 2 i oblicz nastawy regulatora.

Jeśli obiekt cechuje astatyzm (wywołany działaniem całkującym) to podobnie jak poprzednio należy dokonać odpowiedniej interpretacji jego parametrów zastępczych: – T_c (zastępczej stałej całkowania) oraz T_0 (zastępczego czasu opóźnienia). W tym celu musisz poprowadzić asymptotę ukośną akcji całkującej. Jeżeli w badanym obiekcie wejście i wyjście są takiego samego rodzaju (np. sygnały napięciowe) lub są w postaci względnej procentowej, to czas T_c wyznaczysz między punktami przecięcia linii stanu początkowego oraz linii wymuszenia. Czas T_0 wyznaczysz jako przedział między punktem początku wymuszenia i punktem przecięcia asymptoty ukośnej z linią stanu początkowego odpowiedzi (rys.31b).

Jak może zachowywać się odchylenie regulacji dla różnych wariantów ukazuje tabela 1. Dla wyjaśnienia: **czas regulacji T_r** to czas, po którym odchylenie e osiągnie wartość dopuszczalną – $e_{dop.}$; z reguły wynosi ona 5% (gwoźli ścisłości odchylenie wyrażone jest tu jako wartość względna: $e[\%] = (SP-PV)/SP*100 [\%]$ lub $e[\%]=(w-y)/w*100[\%]$), **przeregulowanie - χ** = $e_2/e_m*100[\%]$; e_m – maksymalne odchylenie dynamiczne; e_2 – wysokość drugiej amplitudy przebiegu przejściowego.

Tabela 1. Możliwe przypadki przebiegów przejściowych sygnału uchybu regulacji

Rodzaj przebiegu	aperiodyczny	oscylacyjny
Wymuszenie na wejściu obiektu	<p>Regulator астатyczny</p>	
	<p>Regulator статyczny</p>	
Wymuszenie na wejściu regulatora	<p>Regulator астатyczny</p>	
	<p>Regulator статyczny</p>	

Tabela 2. Wyznaczanie nastaw regulatorów dla obiektu statycznego

Przebieg wielkości regulowanej	Typ regulatora	Obiekt statyczny o danych: k_{ob}, T_z, T_0					
		Wymuszenie wielkością wejściową (z)			Wymuszenie wielkością zadaną (w)		
		$k_{ob} k_p \frac{T_0}{T_z}$	$\frac{T_i}{T_0}$	$\frac{T_d}{T_0}$	$k_{ob} k_p \frac{T_0}{T_z}$	$\frac{T_i}{T_0}$	$\frac{T_d}{T_0}$
$\kappa = 0$ min t_r	P	0,3	—	—	0,3	—	—
	PI	0,6	$0,8 + \frac{0,5}{T_0/T_z}$	—	0,35	$\frac{1,2}{T_0/T_z}$	—
	PID	0,95	2,4	0,4	0,6	$\frac{1}{T_0/T_z}$	0,5
$\kappa = 20\%$ min t_r	P	0,7	—	—	0,7	—	—
	PI	0,7	$1 + \frac{0,3}{T_0/T_z}$	—	0,6	$\frac{1}{T_0/T_z}$	—
	PID	1,2	2	0,4	0,95	$\frac{1,4}{T_0/T_z}$	0,6

Tabela 3. Wyznaczanie nastaw regulatorów dla obiektu astatycznego

Przebieg wielkości regulowanej	Typ regulatora	Obiekt astatyczny o danych: T_c, T_0					
		Wymuszenie wielkością wejściową (x)			Wymuszenie wielkością zadaną (w)		
		$k_p \frac{T_0}{T_c}$	$\frac{T_i}{T_0}$	$\frac{T_d}{T_0}$	$k_p \frac{T_d}{T_c}$	$\frac{T_i}{T_0}$	$\frac{T_d}{T_0}$
$\kappa = 0$ min t_r	P	0,37	—	—	0,37	—	—
	PI	0,46	5,75	—	0,37	6,0	—
	PID	0,65	5	0,23	0,65	5,0	0,4
$\kappa = 20\%$ min t_r	P	0,7	—	—	0,7	—	—
	PI	0,7	3,0	—	0,7	3,0	—
	PID	1,1	2,0	0,53	1,1	2,0	0,53

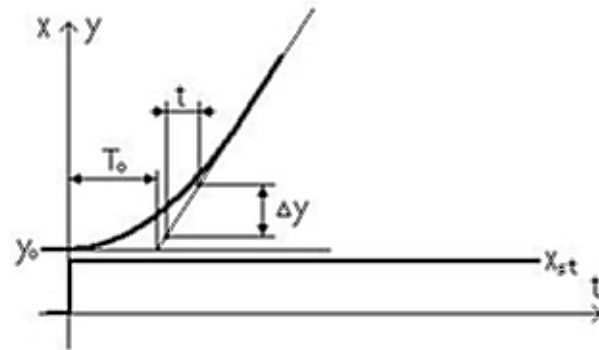
Trzeba także zdefiniować kryteria, dotyczące przebiegu przejściowego wielkości regulowanej – $y(t)$. Kryteria te można sformułować następująco:
 minimum czasu regulacji – T_r , przeregulowanie - $\chi = 0\%$; (przebieg aperiodyczny)
 minimum czasu regulacji – T_r , przeregulowanie - $\chi = 20\%$; (przebieg oscylacyjny)
 minimum całki z kwadratu odchylenia - $\int e^2(t)dt = \min$;

Możesz także dokonać aproksymacji obiektu astatycznego w inny sposób. Przebieg odpowiedzi obiektów astatycznych na wymuszenie skokowe x można zastąpić odpowiedzią o następujących parametrach (rys. 34):

T_0 — zastępczy czas opóźnienia (przez czas T_0 wielkość sterowana nie ulega zmianie),

$T_c = x_{ust} / tg \alpha$ — czas całkowania (czas, po którym Δy osiągnie wartość x_{ust}).

W przypadku, gdy y ma inną naturę fizyczną niż x używa się parametru k_c (stałej całkowania)



$$k_c = 1 / tg \alpha$$

$$T_c = \frac{x_{st} \cdot t}{\Delta y}$$

$$k_c = \frac{\Delta y}{x_{st} \cdot t}$$

Rys. 34. Wyznaczanie parametrów zastępczych T_c lub k_c z odpowiedzi skokowej

Z praktycznego punktu widzenia powinno się podawać względne zmiany sygnałów, co w efekcie daje bezwymiarowy współczynnik wzmocnienia, a przy całkowaniu w obiekcie umożliwia łatwe oszacowanie czasu całkowania.

Jeżeli, np. całkowity zakres zmian sygnału wejściowego podany w wartości bezwzględnej wynosi 16 mA i odpowiada mu liniowo zakres zmian sygnału wyjściowego równy 50° (np. od 25° do 75°), to wyrażając zmianę wejścia o 20% (3.2 mA) otrzymamy względną zmianę wyjścia też o 20% (czyli o 10°). Jeżeli zaś ta sama zmiana na wejściu obiektu powodowałaby proporcjonalne w funkcji czasu przyrosty wyjścia wynoszące, np. $2^\circ/\text{sek}$ ($4\%/\text{sek}$) to czas całkowania miałby wtedy wartość

$$T_c = x_{st} \cdot t / \Delta y = 20 \cdot 1 / 4 = 5 \text{ sek.}$$

Przy wyznaczaniu nastaw regulatorów w układach adaptacyjnych często stosowana jest doświadczalna metoda Zieglera i Nicholasa. Dla obiektów statycznych wybiera się najpierw regulator P i zmienia tak długo wartość współczynnika proporcjonalności – k_p , aż w układzie wystąpią oscylacje niegasnące. Okres tych oscylacji T_{osc} po zmierzeniu oraz wartość wzmocnienia krytycznego $k_{p \text{ kr}}$, służą do określenia korzystnych nastaw (tablica 4).

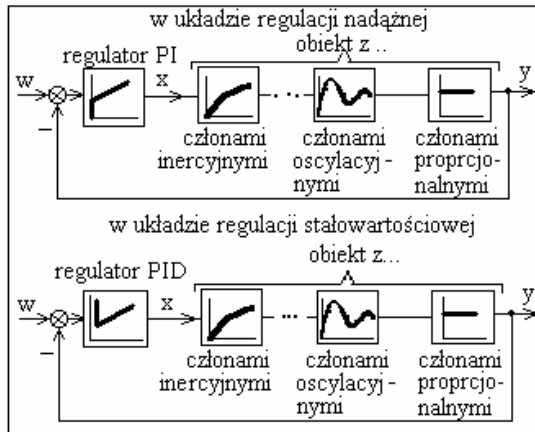
Tablica 4. Wyznaczanie nastaw regulatorów metodą Zieglera i Nicholasa

Reguły nastaw wg Zieglera i Nicholasa	
regulator P	$k_p = 0.5 k_{p \text{ kr}}$
regulator PI	$k_p = 0.45 k_{p \text{ kr}}; T_i = 0.85 T_{osc}$
regulator PID	$k_p = 0.6 k_{p \text{ kr}}; T_i = 0.5 T_{osc}; T_d = 0.12 T_{osc}$

Dla obiektów astatycznych (całkujących z inercjami) wybiera się regulator proporcjonalny. Wstępną wartość k_p dobiera się z wartości wzmocnienia układowego jako $k_0 = T_1 / T_i$, gdzie T_1 – stała czasowa wynikająca z inercji obiektu; T_i – czas całkowania obiektu. Następnie zmienia się jeszcze tak długo tę wartość aż osiągnie się żądane zachowanie układu regulacji.

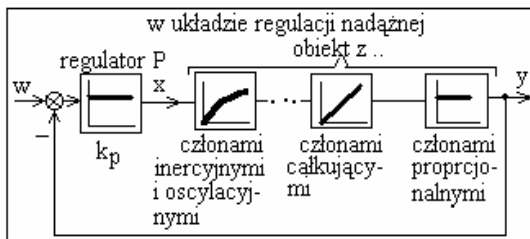
Wybór typu regulatora

Dla obiektów charakteryzujących się właściwościami inercyjnymi pierwszego lub wyższych rzędów – nazywanych obiektami statycznymi – stosuje się przeważnie regulatory PI lub PID (rys. 35). Regulator PI stosuje się w przypadku szybkich zmian wartości wiodącej - w . W układach regulacji stałowartościowej, np. regulacji temperatury, stosuje się regulator PID.



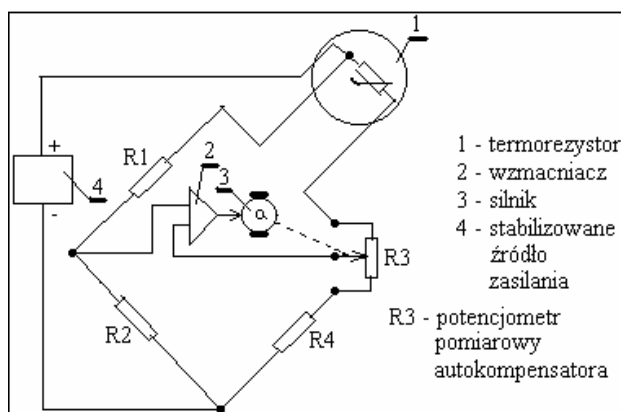
Rys. 35. Regulacja obiektów statycznych [5]

Dla obiektów charakteryzujących się właściwościami całkującymi, zawierającymi co najmniej jeden człon całkujący – nazywanych obiektami astatycznymi - stosuje się w układach regulacji nadążnej regulatory P (rys. 36).



Rys. 36. Układ regulacji nadążnej obiektu astatycznego [5]

Przykładem układu regulacji nadążnej niech będzie układ regulacji położenia pisaka rejestratora kompensacyjnego. Pisak rejestratora powinien podążać za zmianami sygnału rejestrowanego jako sygnału wiodącego – w . W przykładzie wielkością rejestrowaną są zmiany temperatury, której pomiar dokonywany jest za pośrednictwem termorezystora (rys. 37).



Rys. 37. Schemat blokowy ciągłego układu regulacji położenia pisaka w rejestratorze

Rolę regulatora w powyższym przykładzie pełni blok wzmacniaczy 2, który steruje silnikiem 3 (w tym przypadku silnik jest członem całkującym). Wysterowanie wzmacniacza zależy od stanu nierównowagi mostka pomiarowego. Silnik napędza pisak rejestratora sprzężony z potencjometrem pomiarowym R3 i równoważym mostkiem pomiarowym.

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonywania ćwiczeń.

1. Jaką rolę pełni regulator?
2. Jak zorganizowana jest struktura funkcjonalna regulatora?
3. Proszę podać interpretację składowych algorytmu PID.
4. Na czym polega sterowanie przyrostowe?
5. Kiedy stosowana jest realizacja algorytmu w postaci PD-PI?
6. Na czym polega dobór nastaw metodą Zieglera – Nicholasa?
7. Co to jest czas regulacji i przeregulowanie?
8. Jakiego typu regulatory stosuje się do regulacji obiektów statycznych?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zapoznaj się z budową, działaniem i danymi technicznymi modułów we/wy regulatora.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z opisem regulatora wskazanego przez prowadzącego,
- 2) opisać i narysować bloki algorytmiczne regulatora,
- 3) poznać możliwości modułów wejściowych i wyjściowych regulatora.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna wskazanego regulatora cyfrowego,
- literatura zgodnie z punktem 6 Poradnika dla ucznia, poz.: [2], [4], [5].

Ćwiczenie 2

Zapoznaj się ze strukturą funkcjonalną regulatora.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) poznać podstawowe bloki funkcyjne regulatora wskazanego przez prowadzącego,
- 2) poznać metodę konfiguracji regulatora i parametryzacji wskazanych bloków.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna wskazanego regulatora cyfrowego,
- regulator z odpowiednimi dla niego tablicami konfiguracyjnymi.

4.4.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) scharakteryzować typy wejść i wyjść regulatorów cyfrowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) opisać strukturę funkcjonalną regulatora cyfrowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyjaśnić różnicę między algorytmami sterowania: pozycyjnym i przyrostowym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyznaczać nastawy regulatorów metodą obiektu zastępczego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyznaczać nastawy regulatorów metodą Zieglera i Nicholasa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.5. Falowniki w urządzeniach i systemach mechatronicznych

4.5.1. Materiał nauczania

Punktem wyjścia do skrótowego opisu zasad funkcjonowania napędów z falownikami niech będzie przypomnienie paru właściwości, jakimi charakteryzują się silniki indukcyjne. Prędkość obrotowa takich silników zależy od częstotliwości napięcia zasilającego (czyli od czynnika zewnętrznego) oraz od liczby par biegunów (czyli od sposobu, w jaki zaprojektowano i nawinięto uzwojenie stojana). Wartość napięcia zasilania ma również wpływ na obroty, ale w praktyce nieznaczny w stosunku do dwóch pierwszych czynników. Wnioskujemy od razu: o ile na kształt napięcia podanego na silnik możemy mieć wpływ, to z liczbą par biegunów i parametrami uzwojenia musimy się już tylko pogodzić.

$$n_1 = 60 \cdot f / p,$$

gdzie:

n_1 - prędkość obrotowa pola elektromagnetycznego w silniku,

f - częstotliwość napięcia zasilającego (Hz),

p - liczba par biegunów stojana,

$$n = n_1 \cdot (1 - s),$$

gdzie:

n - prędkość obrotowa silnika asynchronicznego (obr /min),

s - poślizg silnik.

Moment wytwarzany przez silnik indukcyjny będzie niezmienny, jeśli zachowana zostanie stała wartość prądu w uzwojeniu oraz stała wartość strumienia elektromagnetycznego w pakiecie blach stojana i wirnika. O ile z prądem sprawa jest zwykle zrozumiała, to pojęcie "stałości strumienia" już nie. Aby nie wnikać zbyt głęboko, a tym samym, coraz mniej zrozumiale w teorię zagadnienia uznajmy za pewnik, że strumień elektromagnetyczny w silniku zależy od trzech czynników: częstotliwości napięcia, wartości skutecznej napięcia oraz parametrów uzwojenia. Generalnie pozostanie on niezmienny, jeśli zachowany zostanie stały stosunek wartości skutecznej napięcia zasilania do częstotliwości tegoż napięcia.

$$\phi = c \cdot U / f,$$

gdzie:

ϕ - strumień elektromagnetyczny,

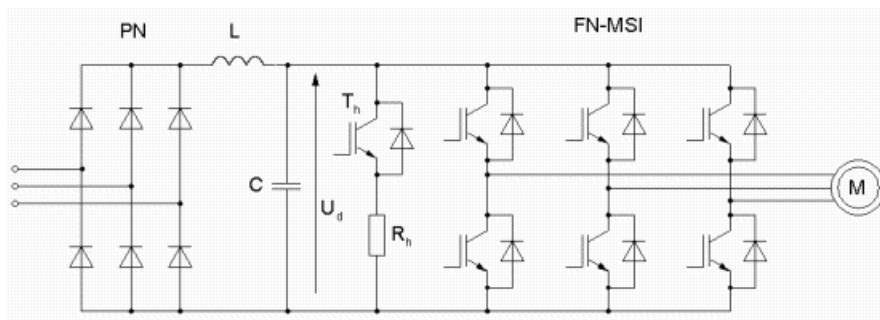
c - współczynnik proporcjonalności,

U - wartość skuteczna napięcia,

f - częstotliwość napięcia.

Jest to wprowadzenie „zgrubne przybliżenie”, ale to właśnie na nim falowniki zrobiły tak oszałamiającą karierę! Czego bowiem wymagamy od falowników najczęściej? Właśnie umożliwienia nam regulacji prędkości obrotowej silnika przy zachowaniu stałości momentu napędowego.

Wniosek: możemy zmieniać prędkość obrotową silnika indukcyjnego zachowując stałość momentu napędowego, jeśli zasilimy ten silnik ze źródła mogącego zmieniać **częstotliwość "f"**, **ale zawsze proporcjonalnie do wartości skutecznej napięcia "U"**. Przykładowo: jeśli silnik w znamionowych warunkach wymaga zasilenia napięciem 3 x 400 V / 50 Hz i jego znamionowe obroty wyniosą wówczas, np. 1460 l /min to stosunek $U/f = 400V/50Hz = 8V/Hz$. Jeśli teraz chcielibyśmy zmniejszyć obroty pięciokrotnie, to: pięciokrotnie musi zostać zmniejszona częstotliwość oraz pięciokrotnie zmniejszona wartość skuteczna napięcia. Czyli: $f = 50 Hz / 5 = 10 Hz$ oraz $U=400V/5=80V$. Stosunek U/f wynosić będzie teraz: $80/10 = 8V/Hz$, czyli warunek spełniony. I to jest właściwie sedno jeśli chodzi o funkcjonowanie prostych falowników. Oczywiście użytkownik falownika nie ustawia każdorazowo tych dwóch wielkości (U oraz f) samodzielnie. Najczęściej za pomocą wybranego sygnału sterującego zadaje się żadaną wartość częstotliwości lub wręcz obrotów a resztą - wartością napięcia, różnego rodzaju kompensacjami itp. - zajmie się wspomniany falownik samodzielnie. Przykładowy falownik małej i średniej mocy przedstawia rys. 38.



Rys. 38. Schemat przetwornicy częstotliwości z pośredniczącym obwodem napięcia stałego i falownikiem napięcia MSI [9]

Na powyższym schemacie możemy wyróżnić następujące elementy: prostownik niesterowany trójfazowy mostkowy PN, filtr LC obwodu pośredniczącego oraz falownik napięcia z modulacją szerokości impulsów (ang. PWM – Pulse **W**idth **M**odulation).

Obwód pośredniczący przekształca wyprostowane napięcie stałe na wygładzone napięcie o regulowanej lub stałej wartości. W przetwornicy z rys. 38, występuje stopień pośredni ze stałym napięciem wejściowym i zmiennym wyjściowym, tzw. czoper. Głównym elementem czopera jest tranzystor mocy, który kluczuje wyprostowane napięcie z mostka. Układ sterowania mierzy wartość napięcia na wyjściu stopnia pośredniego i porównuje z wartością zadaną (znaną pośrednio z zadanej częstotliwości). Jeśli wystąpi różnica tych wartości, to następuje regulacja napięcia wyjściowego przez zmianę czasu (t_{on}) wysterowania klucza tranzystorowego, zgodnie z zależnością:

$$U_v = U_{we} * t_{on} / (t_{on} + t_{off}), \text{ gdzie:}$$

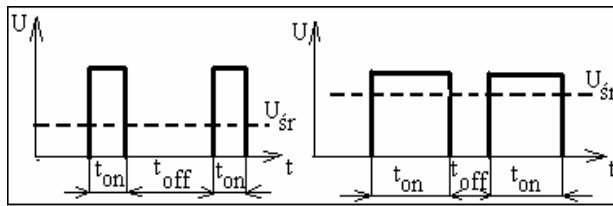
U_v – napięcie stałe, odpowiadające zadanej prędkości,

U_{we} – napięcie na wejściu stopnia pośredniego,

t_{on} – czas otwarcia (wysterowania czopera),

t_{off} – czas blokowania czopera.

Na rys. 39 można zauważyć, w jaki sposób czas przewodzenia tranzystora czopera wpływa na wartość średnią wyjściowego napięcia obwodu pośredniego.



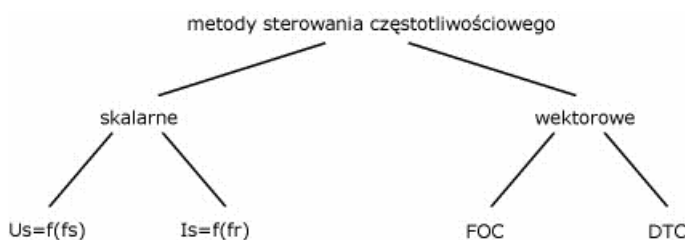
Rys. 39. Zależność napięcia wyjściowego czopera od wartości wiodącej – WWI

Falownik napięcia (inwerter mocy) wytwarza napięcie zmienne trójfazowe o regulowanej wartości i zmiennej częstotliwości. W tym module wytwarzane jest trójfazowe napięcie wyjściowe przetwornicy, które powinno być dopasowane do warunków pracy silnika. Przetwornica powinna zapewnić warunki pracy silnika jak najbardziej zbliżone do nominalnych, w całym zakresie zmian częstotliwości oraz obciążenia silnika.

Falownik z rys. 38 zasilany jest napięciem stałym o regulowanej wartości. Inwerter mocy dokonuje tu zamiany tego napięcia na trójfazowe napięcie o regulowanej częstotliwości. Inwerter zawiera tranzystory, umieszczone parami w trzech gałęziach mocy.

Jako elementy mocy falownika stosuje się obecnie tranzystory z izolowaną bramką IGBT (ang. Insulated Gate Bipolar Transistor). Tranzystory IGBT łączą w sobie korzystne cechy tranzystorów unipolarnych MOSFET (duża szybkość przełączeń, sterowanie napięciowe) oraz tranzystorów bipolarnych (niskie napięcie przewodzenia). Stosując tego typu tranzystory można przełączać duże prądy z wysoką częstotliwością przy stosunkowo małych startach energii.

Sterowanie silnikami indukcyjnymi



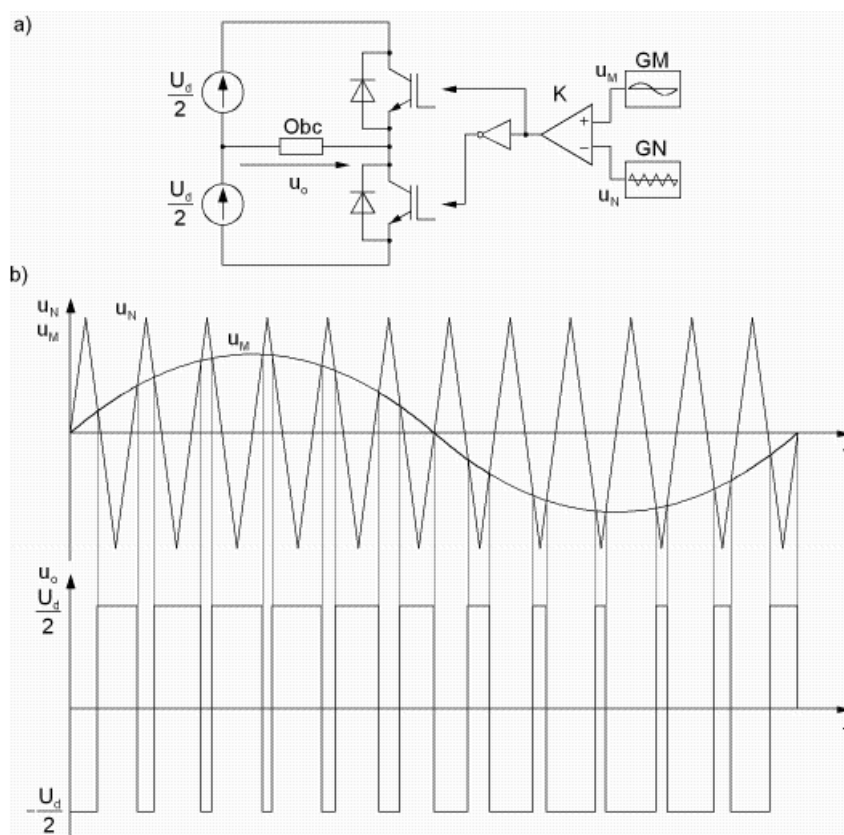
Rys. 40. Metody sterowania częstotliwościowego

Metody sterowania częstotliwościowego (rys. 40) można ogólnie podzielić na skalarne i wektorowe. Najbardziej rozpowszechnione są układy sterowania skalarnego, w których stabilizacja strumienia uzyskiwana jest na podstawie charakterystyk statycznych $U/f = \text{const}$. Dla stanów ustalonych (przy pominięciu spadku napięcia na rezystancji stojana $R_s=0$), utrzymywanie warunku $U/f = \text{const}$ jest równoważne stabilizacji strumienia stojana silnika. W przypadku metod sterowania skalarnego nastawiane są amplitudy i prędkości kątowe wektorów przestrzennych na podstawie zależności obowiązujących w stanach ustalonych. Wynikają z tego wady tej metody, które uwiadcniają się w stanach przejściowych (brak kontroli momentu, brak odsprężenia dynamicznego między sterowaniem momentu i strumienia, nie w pełni wykorzystane możliwości dynamiczne silnika i przemiennika częstotliwości). Zaletą układów sterowania skalarnego jest ich prostota (brak konieczności wykonywania złożonych obliczeń matematycznych).

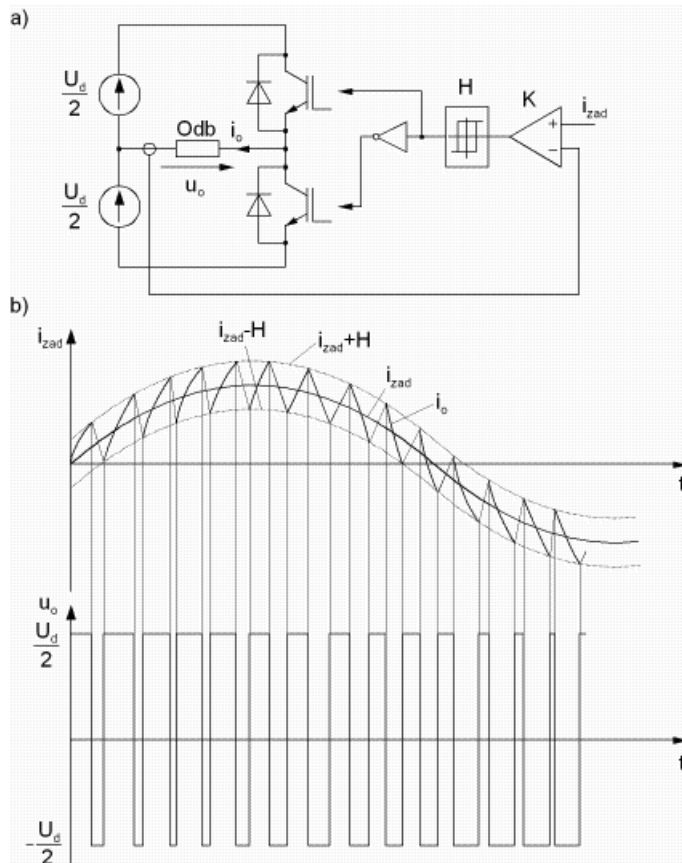
W przypadku układów sterowania wektorowego wpływamy na wzajemne położenie wektorów przestrzennych napięć, prądów i strumieni skojarzonych, zarówno w stanach ustalonych jak i przejściowych. Stosowane są dwie podstawowe strategie sterowania wektorowego: sterowanie polowo-zorientowane (ang. Field Oriented Control - FOC) oraz bezpośrednia regulacja momentu (ang. Direct Torque Control - DTC).

Modulacja szerokości impulsów (PWM) w napędach przekształtnikowych prądu przemiennego, stosowana w przetwornicach przeznaczonych do zasilania silników prądu przemiennego, pozwala na zmianę wartości skutecznej oraz częstotliwości pierwszej harmonicznej napięcia. Wyróżnić można cztery główne rodzaje modulacji: naturalną, histerezową, wektorową oraz stochastyczną.

W przypadku metody naturalnej (rys. 41) ciąg impulsów prostokątnych o modulowanej częstotliwości uzyskuje się w wyniku porównania sygnału nośnego z sygnałem modulującym. Najczęściej stosowane są dwa rodzaje kształtów sygnałów nośnych: piłokształtny i trójkątny. Sygnał modulujący ma zazwyczaj kształt sinusoidy o częstotliwości równej wymaganej częstotliwości pierwszej harmonicznej napięcia wyjściowego i amplitudzie proporcjonalnej do wymaganej amplitudy tej harmonicznej.



Rys. 41. Modulacja naturalna: a) schemat układu, b) przebiegi [9]

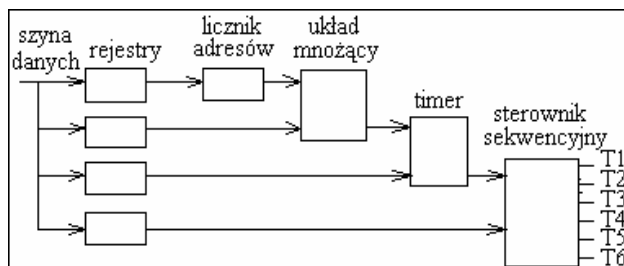


Rys. 42. Modulacja histerezowa: a) schemat układu, b) przebiegi [9]

Metoda histerezowa (rys. 42) polega na wymuszaniu takiej wartości prądu falownika, jaka wynika z sygnału zadającego. Sygnał zadający ma kształt sinusoidy o wymaganej amplitudzie i częstotliwości. Jeżeli wartość chwilowa prądu wyjściowego jest większa od wartości zadanej, to następuje podłączenie wyjścia danej fazy do ujemnego bieguna napięcia obwodu pośredniczącego. Natomiast w przypadku, gdy chwilowa wartość prądu jest mniejsza od zadanej, to następuje podłączenie do bieguna dodatniego. W celu ograniczenia częstotliwości łączeń stosuje się komparator z histerezą. Częstotliwość przełączeń tranzystorów nie jest stała w ciągu jednego okresu prądu i zależy ona od szerokości pętli histerezy oraz od parametrów silnika (w szczególności od różnicy między napięciem w obwodzie pośredniczącym i chwilową wartością SEM silnika). Można spotkać się z tym, że wprowadza się dodatkowy sygnał o stałej częstotliwości, synchronizujący przełączenia (tzw. delta-modulacja). Wówczas częstotliwość przełączeń jest stała i powoduje to, że prąd obciążenia może wychodzić poza granice histerezy.

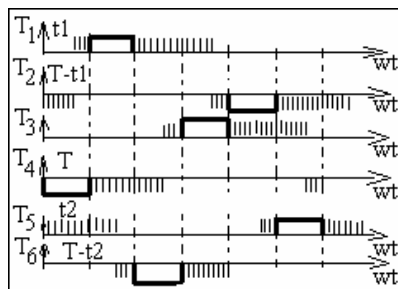
Najdoskonalszą metodą PWM sterowania inwertera jest sterowanie wektorem napięcia – VVC (ang: Voltage Vector Control). W metodzie tej czas trwania impulsów otwierających klucze obliczany jest na bieżąco na podstawie pomiaru prądu obciążenia i zadanych parametrów pracy przetwornicy. Optymalny czas otwarcia tranzystorów inwertera obliczany jest przez specjalizowany układ ASIC (ang: Application Specific Integrated Circuit). W metodzie VVC wytworzenie optymalnego strumienia magnetycznego silnika zostało osiągnięte dzięki wbudowanemu w przetwornicy modelowi silnika, w którym stałe stojana: R_t i X są symulowane i adoptowane do silnika o danej mocy. Algorytm VVC zapisany

w układzie ASIC, współpracującym z głównym procesorem przetwornicy, oblicza optymalne czasy otwarcia kluczy w inwerterze mocy, optymalny strumień magnetyczny wraz ze zmieniającym się obciążeniem. Wielkość modulacji dwóch aktywnych faz określana jest według algorytmu zapisanego w pamięci układu ASIC, którego uproszczony schemat przedstawia rys. 43. Układ ASIC zawiera kilka niezależnych bloków o różnych funkcjach. Są to: – **rejestry danych**, przez które mikroprocesor przesyła i pobiera informację do i z innych bloków; – **licznik adresów**, w którym następuje obliczanie adresów w tabeli wartości funkcji cosinus, umieszczonej w pamięci ROM; – **układ mnożący**, w którym dokonywane jest obliczanie iloczynu $U_m \cos(\omega_s t)$ oraz obliczane są czasy t_1 i t_2 , włączenia kluczy inwertera; – **blok czasowy (timer)**, w którym następuje wytworzenie sygnałów sterujących, otwierających klucze inwertera; – **blok sterowania sekwencyjnego**, w którym następuje wytworzenie odpowiedniej sekwencji sygnałów sterujących dla trzech gałęzi inwertera (falownika).



Rys. 43. Specjalizowany układ ASIC obsługujący metodę VVC

Sekwencję sygnałów sterujących inwerterem mocy przedstawia rys. 44. Jak można zauważyć, pierwszym kluczem utrzymywanym przez 60° na stałym ujemnym potencjale jest T_4 , podczas gdy klucze T_1 i T_5 są modulowane. Przez następne 60° stopni klucz T_1 utrzymywany jest na stałym, dodatnim potencjale, a klucze T_4 i T_6 są modulowane, przy czym: - t_1 jest czasem otwierania klucza T_1 do szyny "+"; - t_2 jest czasem otwierania klucza T_5 do szyny "+".



Rys. 44. Uzyskiwanie napięcia wyjściowego metodą VVC

W efekcie sterowania VVC uzyskuje się na wyjściu napięcie międzyfazowe o sinusoidalnej obwiedni. Przy częstotliwości wyjściowej 50 Hz napięcie wyjściowe międzyfazowe ma wartość 400V. Przetwornica wykorzystująca metodę VVC może więc na swoim wyjściu wytworzyć znamionowe warunki zasilania silnika: U_n , f_n . Jest to jedna z najważniejszych zalet tej metody. W metodach regulacji częstotliwości dąży się najczęściej do kontrolowania stosunku U/f na wyjściu przetwornicy. Utrzymanie stałego stosunku U/f pozwala bowiem na uzyskanie stałego strumienia magnesującego silnika. Jeśli praca przetwornicy odbywa się ze stałym momentem, konieczne jest utrzymywanie stałego strumienia magnesującego, czyli stałego stosunku U/f . W przypadku pracy przetwornicy ze zmiennym momentem obciążenia konieczne jest - dla ekonomicznej regulacji - kontrolowanie stosunku U/f według zadanej charakterystyki. W metodzie VVC strumień magnesujący jest nie tylko utrzymywany na stałym poziomie, ale jest on również optymalizowany w zmieniających się warunkach pracy.

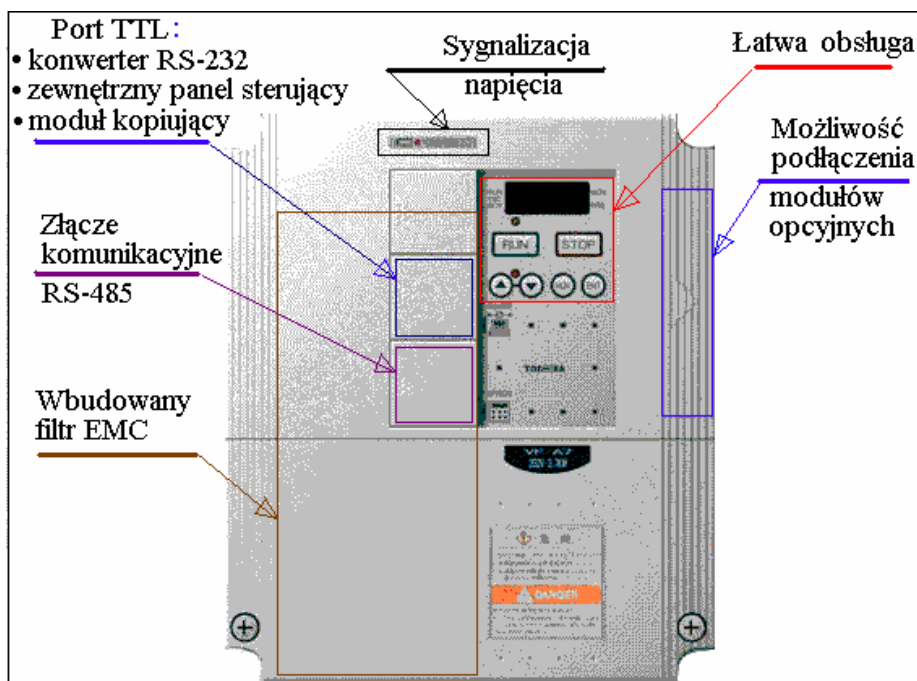
Strumień magnesujący będzie w każdej sytuacji dopasowywany do aktualnych warunków obciążenia silnika. Taka właściwość nazywana jest magnesowaniem zależnym od obciążenia. W przypadku, gdy częstotliwość przełączeń tranzystorów jest stała, w widmie napięcia fazowego występują kolejne wielokrotności częstotliwości przełączeń oraz ich wstęgi boczne. Powoduje to, że silnik zasilany takim napięciem wytwarza dodatkowy hałas pochodzący od sił magnetycznych (charakterystyczny „pisk”). Stosując **modulację stochastyczną** polegającą na losowej zmianie wartości poszczególnych okresów przełączeń w określonych granicach, powodujemy rozmycie widma harmonicznych napięcia. Silnik zasilany z tak sterowanego przekształtnika wytwarza hałas znacznie mniej uciążliwy dla człowieka.

Najbardziej zaawansowane technologicznie falowniki na świecie produkuje obecnie firma Toshiba. Wszystkie falowniki TOSHIBA są falownikami wektorowymi (z beczujnikowym sterowaniem wektorowym) - choć istnieje możliwość wyłączenia tego trybu i używania falownika jak "skalarne" (stała charakterystyka U/f).

Poniżej przedstawiono cechy jednego z produkowanych falowników serii A7 (rys. 45).

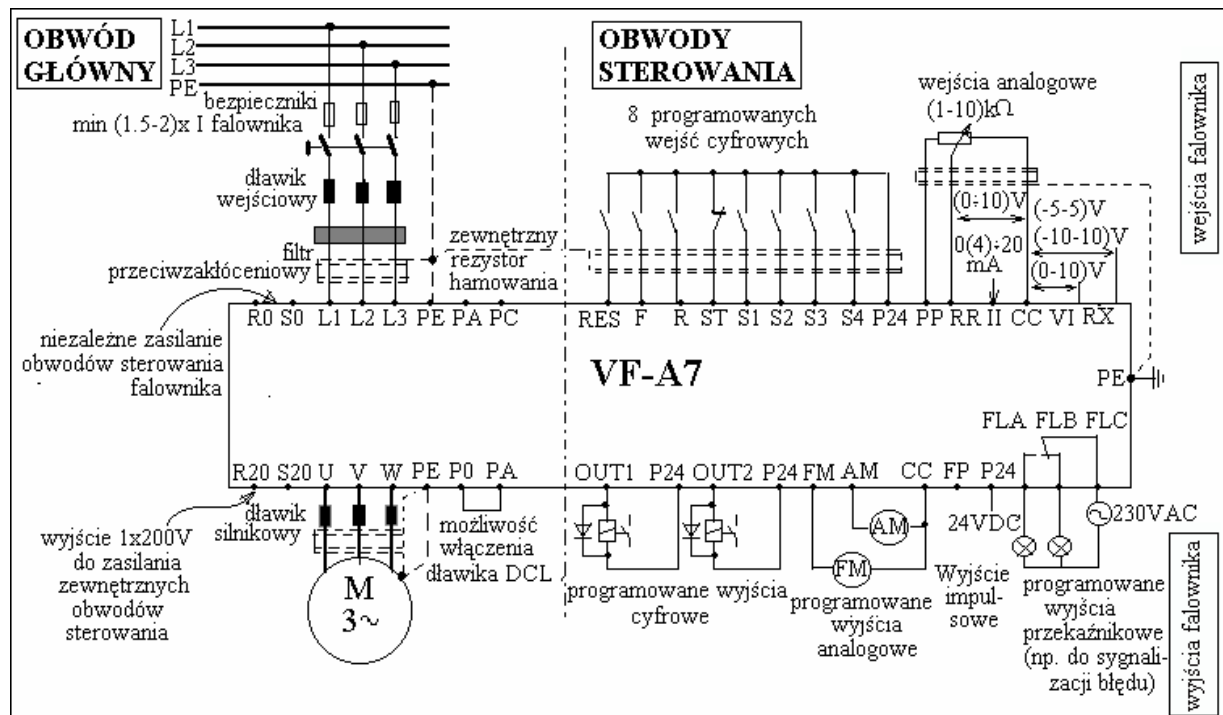
Falowniki te umożliwiają uzyskanie ponad 200% znamionowego momentu silnika już przy częstotliwości 0,5Hz. Są one właściwym rozwiązaniem do maszyn o ciężkim i bardzo ciężkim rozruchu, gdyż można je przeciążać prądowo do 150% przez czas 120s (do 215% przez 0,5s). Po zastosowaniu enkodera (wraz z odpowiednim dla niego modułem rozszerzenia) możliwe jest sterowanie wektorowe ze sprzężeniem zwrotnym (umożliwiającym między innymi sterowanie momentem) oraz praca w trybie pozycjonowania. Wyposażenie standardowe obejmuje:

1. Wbudowany panel sterujący z wyświetlaczem i przyciskami.
2. Wbudowane złącze RS485.
3. Regulator PID (w pełni konfigurowalny).
4. Dodatkowe parametry przydatne w napędach dźwigów i wind.
5. Wbudowany chopper hamowania (do wielkości 22 kW).
6. Możliwość podłączania modułów rozszerzeń.



Rys. 45. Wygląd zewnętrznego falownika Toshiba VF-A7

Seria A7 dostępna jest jedynie w wykonaniu z zasilaniem trójfazowym. Schemat połączeń falownika Toshiba VF-A7 przedstawia rys. 46.

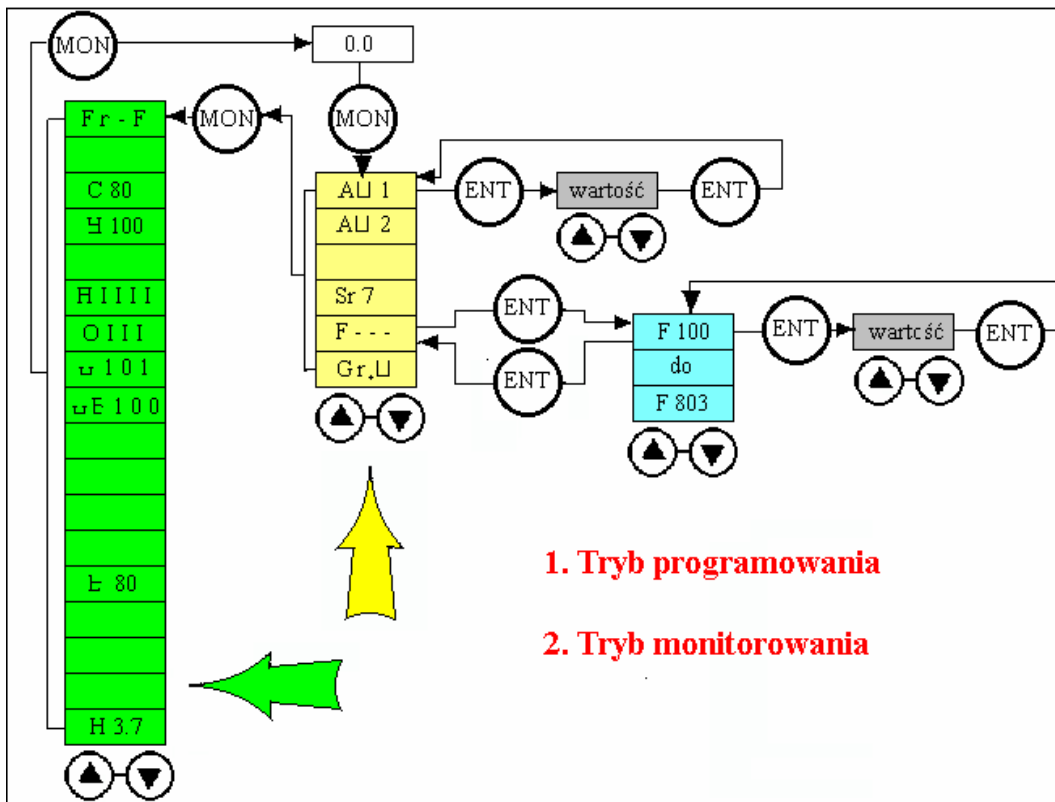


Rys. 46. Wygląd połączeń falownika Toshiba VF-A7

Falownik ten ma następujące dane techniczne:

- 0,75 kW...280 kW,
- zgodność ze standardem CE oraz ISO 9001 i ISO 14001,
- przeciążalność prądowa 150% przez czas do 120 s (max 215% przez 0.5 s),
- ponad 200% momentu znamionowego silnika już przy 0,5 Hz,
- bezczujnikowe sterowanie wektorowe oraz autotuning parametrów silnika,
- wbudowany filtr przeciwzakłóceńowy sieciowy klasy A (do 15 kW),
- wbudowany chopper hamowania (do 22 kW włącznie),
- regulator PID o nastawnych parametrach,
- złącze RS 485 jako wyposażenie standardowe,
- automatyczny dobór optymalnych nastaw parametrów,
- wbudowane funkcje obsługi wind i dźwigów,
- tryb pracy energooszczędnej oraz pracy z wieloma silnikami,
- analogowy sygnał wyjściowy 0 - 10 V lub 0(4)... 20 mA może być proporcjonalny do częstotliwości wyjściowej, prądu wyjściowego lub innych parametrów pracy napędu ,
- wejścia i wyjścia:
 - 8 wejść cyfrowych,
 - 3 wejścia analogowe (1 prądowe i 2 napięciowe lub 3 napięciowe),
 - 1 wyjścia przekaźnikowe (styk przełączalny),
 - 2 wyjścia typu otwarty kolektor,
 - 2 wyjścia analogowe,
 - 1 wyjście impulsowe,
- możliwość rozszerzania ilości wejść i wyjść,
- możliwość sterowania momentem,

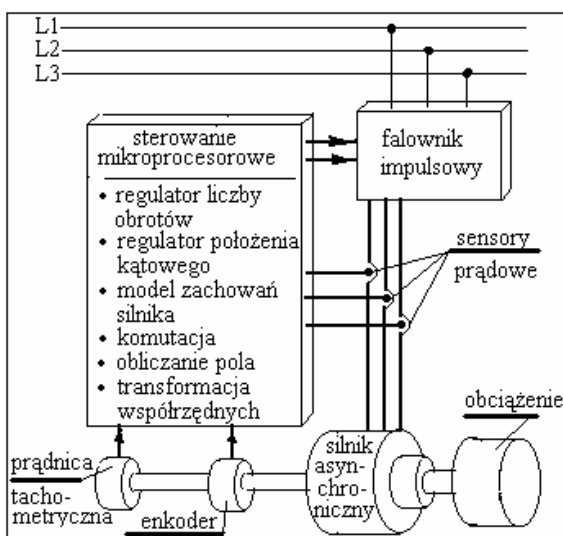
- możliwość podłączania enkodera,
- praca w trybie pozycjonowania.



Rys. 47. Struktura menu falownika Toshiba VF-A7

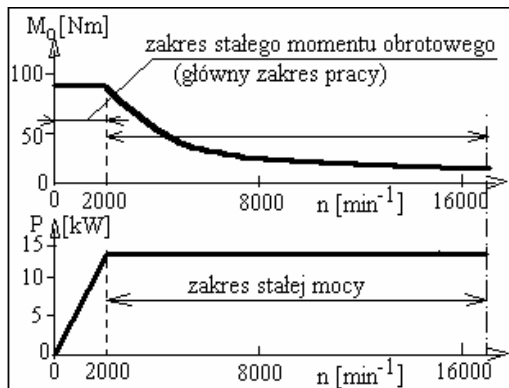
Programowanie falownika (rys. 47) to materiał na bardzo obszerny poradnik, dlatego zainteresowanych odsyłam do dokumentacji techniczno – ruchowej danego typu falownika.

Podsumowując ten rozdział warto zwrócić uwagę na to, iż falowniki stosuje się zarówno do sterowania silnikami asynchronicznymi (rys. 48) jak i synchronicznymi (rys. 50).

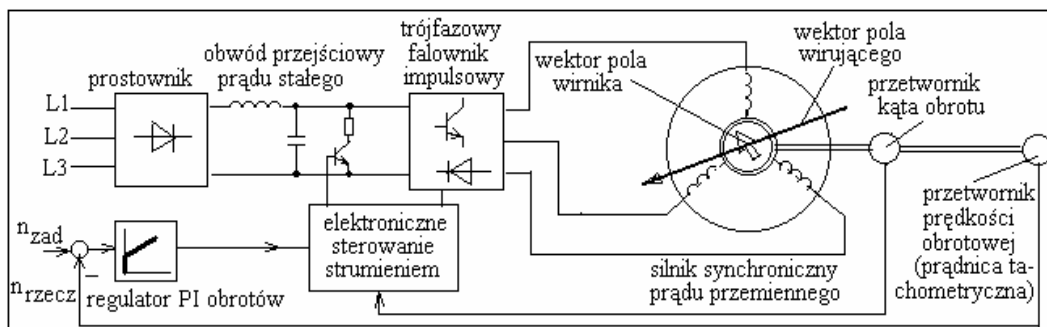


Rys. 48. Napęd z silnikiem asynchronicznym z komutacją za pomocą falownika [5]

Silniki asynchroniczne stosuje się głównie w obrabiarkach. Silnik taki ma w dolnym zakresie obrotów stały moment napędowy i liniowo narastającą moc przy wzroście obrotów (rys. 49). W górnym zakresie obrotów maksymalny moment jest odwrotnie proporcjonalny do obrotów. W tym zakresie obrotów oddawana moc jest stała. Przy zastosowaniu tych silników w napędach głównych obrabiarek, dzięki osłabieniu pola, osiąga się obroty do $20\,000\text{ min}^{-1}$



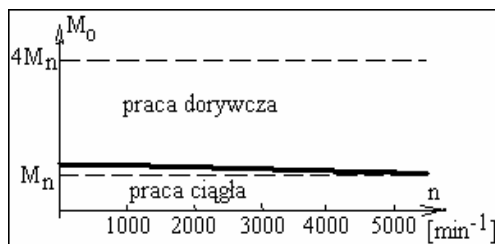
Rys. 49. Moment obrotowy i moc silnika asynchronicznego sterowanego falownikiem [5]



Rys. 50. Napęd z silnikiem synchronicznym z komutacją za pomocą falownika [5]

Stosowany przy napędach posuwu w obrabiarkach i napędach zespołów ruchu robotów silnik synchroniczny ma elektroniczne sterowanie prądem w uzwojeniach stojana. Jego wirnik zawiera magnesy trwałe i ustawia się zgodnie z wektorem strumienia magnetycznego stojana. Połączony z wirnikiem silnika przetwornik kąta obrotu (enkoder) wysyła do elektronicznego układu sterowania strumieniem magnetycznym sygnał o aktualnym kącie obrotu. Dzięki regulatorowi PI obrotów i regulatorowi PI prądu, układ sterowania strumieniem przyspiesza obrót wektora strumienia przy wzroście wartości zadanej – n_{zad} . Z drugiej strony, wektor strumienia zmienia swój kierunek, by wirnik podążał za strumieniem (kierunek strumienia pola wirnika jest obracany tak, jak obraca się sam wirnik).

Silniki synchroniczne mają na ogół zakres obrotów od -5000 min^{-1} do $+5000\text{ min}^{-1}$. Silniki te można w całym zakresie obrotów obciążać momentem znamionowym M_n (rys.51). Dla realizacji dużych przyspieszeń silniki tego typu mogą wytwarzać przez krótki okres czasu ($0.3\div 0.5$) s momenty (impulsowe) o wartościach rzędu od $3M_n$ do $5M_n$. Zarówno w napędzie z silnikiem synchronicznym jak i asynchronicznym steruje się kierunkiem strumienia magnetycznego stojana w zależności od chwilowego położenia wirnika.



Rys. 51. Zakres obrotów i obciążalność silnika synchronicznego

Dobór falownika

Przetwornica powinna posiadać funkcje, które umożliwiają pracę w najtrudniejszych warunkach, takich jak niskie częstotliwości wyjściowe i zmienne obciążenie silnika, aby możliwa była praca w całym zakresie prędkości obrotowych. Takie funkcje nazywamy kompensacjami.

Te kompensacje to:

- kompensacja rozruchu i napięcia rozruchu,
- kompensacja częstotliwości początkowej,
- kompensacja poślizgu,
- kompensacja napięcia wyjściowego w funkcji obciążenia.

Kompensacja rozruchu i napięcia rozruchu ma za zadanie zapewnić optymalny strumień magnesujący i maksymalny moment początkowy przy pracy z niskimi prędkościami za pomocą zwiększenia wartości napięcia wyjściowego przy niskich częstotliwościach. Kompensacja poślizgu jest funkcją, która umożliwia stabilną pracę układu napędowego w całym zakresie prędkości obrotowej. Polega na kontrolowaniu poślizgu przez zwiększanie częstotliwości, proporcjonalnie do składowej czynnej.

Kompensacja napięcia wyjściowego w funkcji obciążenia polega na dopasowaniu napięcia wyjściowego przetwornicy do zmieniających się warunków obciążenia. Ta metoda powinna być stosowana tylko w czasie rozruchu silnika, gdy częstotliwość jest niska. Kompensacja pozwala na maksymalne wykorzystanie właściwości dynamicznych silnika. Aby wybrać przetwornicę częstotliwości, należy kierować się następującymi parametrami: parametry silnika: moc, napięcie, moment rozruchu, prędkość obrotowa, prąd znamionowy; parametry przetwornicy: zakres częstotliwości, częstotliwość maksymalna, przeciążalność, rodzaj wyświetlacza, rodzaj wejść sterujących, rodzaj sterowania, rodzaj zabezpieczeń, typ komunikacji z użytkownikiem.

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonywania ćwiczeń.

1. W jaki sposób można stabilizować moment obrotowy silników indukcyjnych?
2. Z jakich podstawowych zespołów zbudowana jest przetwornica częstotliwości?
3. Na czym polega sterowanie wektorowe silników indukcyjnych?
4. Proszę wyjaśnić naturalną metodę modulacji szerokości impulsów.
5. Do czego w falowniku wykorzystywany jest układ ASIC?
6. Na czym polega sterowanie falownikowe obrotami silników synchronicznych?
7. Jakie zadania realizuje układ sterowania falownikowego silników asynchronicznych?
8. Jakimi parametrami należy kierować się przy doborze przetwornicy częstotliwości?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dla wskazanego typu silnika dobierz falownik oraz urządzenia peryferyjne napędu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) poznać dane katalogowe falowników wskazanych przez prowadzącego,
- 2) stosując wskazany algorytm doboru zdecydować, który z nich spełnia wymagania,
- 3) zdecydować o sposobie sterowania napędem.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna wskazanego falownika,
- literatura zgodnie z punktem. 6 Poradnika dla ucznia, poz.: [5], [9].

Ćwiczenie 2

Zapoznaj się z metodami programowania pracy napędu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) poznać podstawowe bloki funkcyjne falownika wskazanego przez prowadzącego,
- 2) poznać metodę konfiguracji i parametryzacji sterownika mikroprocesorowego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna wskazanego sterownika,
- komputer PC, z odpowiednim dla falownika oprogramowaniem.

4.5.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1) wyjaśnić rolę i budowę inwertera w przetwornicy częstotliwości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić istotę sterowania wektorowego falownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać najważniejsze dane techniczne falowników?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) podać przykłady urządzeń mechatronicznych z napędami falownikowymi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) scharakteryzować typy wejść i wyjść obwodu sterowania falownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.6. Zasady współdziałania sterowników, regulatorów i falowników

4.6.1. Materiał nauczania

Przy użyciu komputera do pomiarów, sterowania bądź regulacji konieczne jest stosowanie łączny (nazywanych także portami).

Standardy komunikacji szeregowej

Do najbardziej znanych standardów komunikacji szeregowej należą: TTY, RS 232, RS 232C, RS 422, RS 422A, RS 423, RS 485 (**R**ecommended **S**tandard). Są stosowane w prostych układach pomiarowych, regulatorach i cechują się małą prędkością transmisji danych, ale pozwalają na budowę systemów pomiarowych i sterujących rozłożonych na dużej przestrzeni. Transmisja szeregowa oznacza, że dane przesyłane są bit po bicie. W transmisji szeregowej występują trzy tryby przesyłania danych:

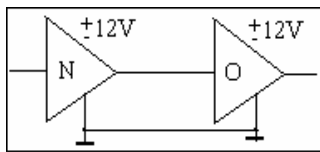
- simpleks, czyli transmisja jednokierunkowa między dwoma urządzeniami,
- półdupleks, czyli transmisja dwukierunkowa niejednoczesna po jednej linii transmisyjnej,
- duplex, czyli transmisja dwukierunkowa jednoczesna, polegająca na jednoczesnym nadawaniu w obu kierunkach.

W celu zapewnienia poprawności transmisji stosowane są dwie metody koordynacji transmisji informacji:

- transmisja synchroniczna, która polega na nadawaniu i odbieraniu poszczególnych znaków w określonych przedziałach czasu, np. synchronicznie z taktom zegara,
- transmisja asynchroniczna, która polega na tym, że przed i po każdym transmitowanym znaku występuje bit startu oraz bit stopu. Format przesyłanych danych w transmisji asynchronicznej obejmuje bity startu, bity danych, bit kontrolny (opcjonalnie) i bity stopu. Bit kontrolny pełni najczęściej funkcję kontroli parzystości, która polega na sprawdzeniu liczby jedynek w polu danych i ustawieniu bitu kontrolnego na logiczną "1" w przypadku nieparzystej liczby jedynek lub na logiczne "0" w przypadku parzystej liczby jedynek.

W większości sterowników i regulatorów obowiązuje standard RS 232C oraz RS 485.

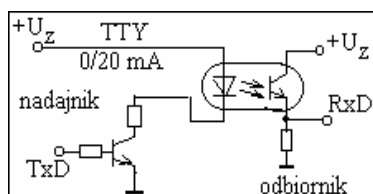
Standard RS 232C stosowany jest do bezpośredniego połączenia regulatorów z programatorami ręcznymi i komputerami PC podczas konfiguracji. (rys. 52).



Rys. 52. Połączenie nadajnika N i odbiornika O w standardzie RS 232C [6]

Typowe szybkości komunikacji wynoszą 1200, 2400, 4800, 9600, 14 400, 19 200 b/s. Wartość logiczna "1" odpowiada napięciu ujemnemu: $-3 \dots -15V$, a "0" dodatniemu: $+3 \dots +15V$. Maksymalna długość przewodów – 15 m; czułość odbiornika: $\pm 3V$, minimalna rezystancja obciążenia nadajnika: 300Ω ; rezystancja wyjściowa nadajnika: $120 k\Omega$; rezystancja wejściowa odbiornika: od 3 do 7 $k\Omega$. Ze względu na możliwość połączenia jedynie dwu urządzeń typowa sieć komputerowa standardu RS 232C ma strukturę gwiazdową

TTY. Linia komunikacyjna jest sterowana prądem $0/20 \text{ mA}$ ew. $\pm 20 \text{ mA}$ (rys 53). Nie ma więc znaczenia oporność przewodów i zasięg wzrasta do 1500 m przy szybkościach jak w standardzie RS 232C.

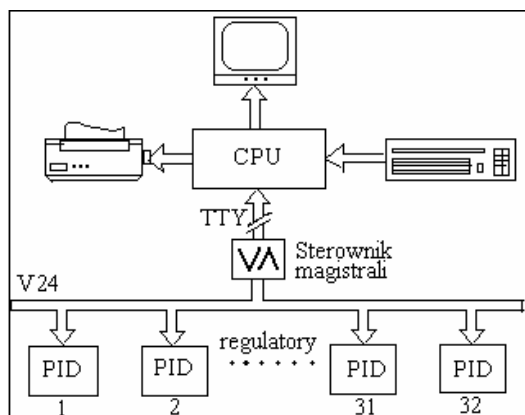


TxD – dane nadawane (Transmitted Data)
RxD – dane odbierane (Received Data)

Rys. 53. Obwód pętli prądowej wg standardu TTY [6]

Źródło prądu w nadajniku jest zasilane napięciem 12 lub 24V. Po stronie odbiornika wartości 1 i 0 odpowiadają 20 mA i 0 mA. Struktura sieci nie musi być ograniczona do gwiazdy. Standard TTY występuje w urządzeniach Siemens przy połączeniu komputera nadrzędnego

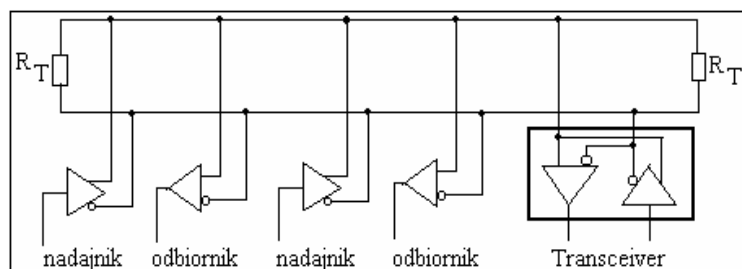
z oddalonym sterownikiem, który zmieniając standard na V24 komunikuje się z pobliskimi regulatorami (rys. 54).



Rys. 54. Przykład systemu złożonego

z regulatorów SIPART f-my Siemens [4]

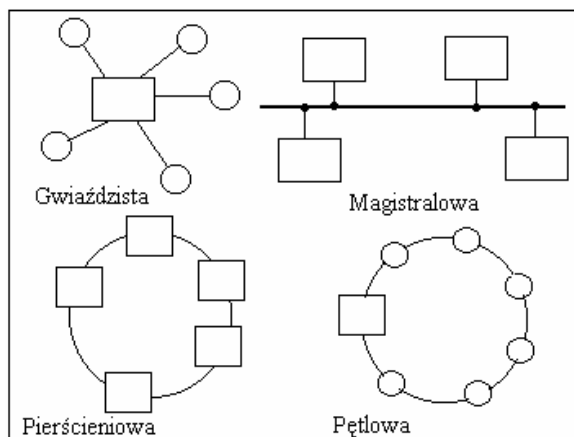
Standard RS 485 został wprowadzony w 1983 r., zezwalając na połączenie 32 nadajników i 32 odbiorników (rys.55). Stało się to możliwe dzięki zastosowaniu urządzeń trójstanowych. W danej chwili może nadawać tylko jeden nadajnik, pozostałe muszą być w stanie wysokiej impedancji wejściowej. Każdy nadajnik powinien zapewnić różnicowe napięcie wyjściowe od $-1.5V$ do $5V$. Min rezystancja wejściowa odbiornika: $12\ k\Omega$. Zakres napięcia wejściowego odbiornika: od $-7V$ do $12V$. Dopasowanie linii zapewniają dwa rezystory $R_T = 60\ \Omega$, na początku i na końcu linii. Zasilanie nadajników i odbiorników: $5V$.



Rys. 55. Schemat połączenia wg standardu RS 485 [4]

Obwody transmisyjne RS 485 są symetryczne, zrównoważone, bowiem składają się z różnicowego nadajnika, 2-przewodowej, zrównoważonej magistrali wielodostępnej (tzw. półdupleks) oraz odbiornika z wejściem różnicowym. Pozwala to zwiększyć szybkość transmisji nawet do $10\ Mb/s$ przy max odległości $1200\ m$.

Architektura systemów automatyki i mechatroniki ma strukturę sieci, w której elementy pomiarowe, wykonawcze i sterujące (regulatory, sterowniki) są węzłami tej sieci. Wewnętrzne systemy komunikacyjne nazywa się sieciami lokalnymi LAN (ang. Local Area Network), które mogą mieć różnorodną topologię (rys. 56).



Rys. 56. Topologie sieci [3]

Centralnym punktem sieci gwiazdzistej jest koncentrator (Hub), który ma oddzielne łącze do każdego elementu sieci. W takiej sieci można korzystać nawet ze zwykłego interfejsu RS 232 lub łączy TTY bez implementacji specjalnego protokołu.

Sieć o strukturze pętlowej (Interface Loop Bus) posiada kontroler sieci, który steruje i testuje dołączone elementy sieci. Każdy taki element przesyła dane do następnego, dodając swoje dane. Wadą takiej struktury jest awaria całego systemu w razie awarii jednego elementu lub połączenia.

W sieci o strukturze pierścieniowej wszystkie elementy są równouprawnione i zbędny jest kontroler sieci. Dane przesyłane są w jednym kierunku, kolizji zapobiega cykliczny sygnał zezwalający (Control Token) wysyłany przez stację, która przetwarzała dane jako ostatnia. Inną możliwością zapobiegania kolizji jest reguła, która zapewnia podział czasu dla dostępu poszczególnych elementów do sieci.

W sieciach szeregowych lub magistralowych najwcześniej stosowana była reguła wymiany paczek danych w sieci „nadrzędny – podrzędny” (master – slave), która uprawnia do inicjowania transmisji (zapytania) jedynie element sieci z tytułem „nadrzędny”. W sieci takiej stosuje się także transmisje rozgłoszeniowe (Broadcast), w których komunikaty trafiają jednocześnie do wszystkich abonentów. W sieci magistralowej dane mogą być również wymieniane przez przekazywanie dostępu do sieci (token passing). Polega to na tym, że kolejnym elementom sieci przydziela się żeton (token) zapewniający dostęp do sieci i możliwość przekazywania własnych danych, tzw. zmiennych globalnych, dla innych uczestników wymiany danych w sieci.

W ostatnim czasie dużą popularność zdobyła niedeterministyczna, równoprawna reguła wielodostępu przez rozpoznawanie nośnej i wykrywanie kolizji CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Polega ona na nasłuchu łącza przed transmisją i na wykrywaniu i rozstrzyganiu sytuacji kolizyjnych, które występują w trakcie jednoczesnego zgłaszania potrzeby dostępu do sieci przez wielu jej użytkowników. W sytuacjach kolizyjnych każda ze stacji musi przerwać transmisję i odczekać losowo wybrany okres czasu, po czym ponawia próbę dostępu do sieci.

Natomiast w sieciach polowych (Field Network) systemów sterowania coraz szerzej stosuje się model dostępu producent – dystrybutor – konsument PDC (Producer – Distributor – Customer).

Producent jednostki danych jest odpowiedzialny w warstwie aplikacji (application link layer) za produkowanie danych, dystrybutor jest odpowiedzialny za transfer danych od producenta do konsumentów. Jednostka danych emitowana do sieci przez producenta jest identyfikowana przez unikalną nazwę. Identyfikatory zmiennych są transmitowane przez kontrolera magistrali

według listy wszystkich zmiennych istniejących w systemie. Abonenci sieci jako producenci lub konsumenci posiadają lokalne listy zmiennych, na których umieszcza się identyfikatory zmiennych. Producent jest informowany o żądaniu emisji jednostki danych przez odbiór jej kodu. Konsumenci danych to aplikacje, które żądają danych. Producent transmituje wtedy informację zgodną z kodem. Ten mechanizm nazywa się adresowaniem źródła i stawia w pozycji uprzywilejowanej konsumentów.

W zastosowaniach przemysłowych, do łączenia przyrządów w obszarze maszyn produkcyjnych i urządzeń procesów przemysłowych dominującą rolę pełni sieć **Fieldbus**, wykorzystująca najczęściej jako medium przesyłowe magistrale przewodowe typu skrętki. W ramach tej sieci istnieją różne standardy komunikacyjne, w tym: **Profibus DP, Genius, Modbus RTU, Interbus S, AS-I, CAN**.

Protokół **PROFIBUS** w zakresie dostępu do nośnika łączy dwie metody:

- przekazywania znacznika (token passing) polegający na przekazywaniu uprawnień między węzłami typu master (najczęściej sterowniki i komputery);
- odpytywania (polling) do komunikacji między węzłami sieci typu master i slave.

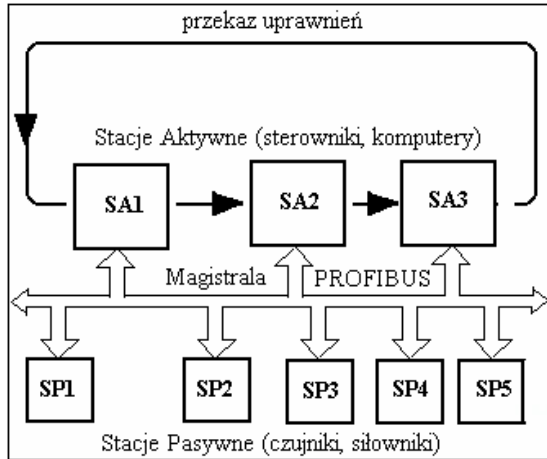
Kontrolę dostępu do magistrali mają jedynie stacje aktywne (sterowniki, komputery). Stacje pasywne (czujniki, elementy wykonawcze) nie mają możliwości inicjowania dostępu do magistrali. Stacja aktywna po otrzymaniu znacznika steruje dostępem do magistrali i komunikuje się z elementami pasywnymi, a następnie przekazuje znacznik kolejnej stacji aktywnej (rys. 57).

Architektura protokołu **PROFIBUS (PROcess Field BUS)** została oparta na warstwowym modelu sieci tzw. **OSI (Open Systems Interconnection)**. Standard cechuje duży stopień elastyczności i uniwersalności. Główne jego cechy to:

- topologia pierścienia (token ring);
- maksymalna liczba węzłów sieci 127;
- maksymalna długość sieci – 1200 m, a ze wzmacniaczami – 4800 m;
- szybkość transmisji: od 9,6 kb/s do 1,5 Mb/s (szybkość transmisji jest zależna od długości linii);
- transmisja asynchroniczna (półdupleks) zgodna ze standardem RS 485;
- medium transmisyjne: skrętka lub światłowód;
- najwyżej położoną warstwą w modelu sieci OSI jest warstwa 7 (sprzężenie z aplikacją); cechą protokołu PROFIBUS jest możliwość używania obiektowo zorientowanych aplikacji typu klient – serwer.

Standard PROFIBUS ma bardzo wiele zróżnicowanych funkcji komunikacyjnych, których jednoczesne wykorzystanie wszystkich zachodzi bardzo rzadko. Najczęściej – w konkretnych zastosowaniach – stosowane są tylko niektóre wybrane funkcje. Wybrany zestaw funkcji nazywa się profilem. Obecnie PROFIBUS zawiera trzy magistrale:

- PROFIBUS FSM (Field Message Specification) jest najwyższym poziomem w sieci komputerowej przeznaczonym do komunikacji między PLC oraz między PLC i urządzeniami inteligentnymi. W standardzie zdefiniowano szeroki zakres funkcji przy możliwości przesyłania dużych pakietów danych.
- PROFIBUS PA (Process Automation) określa poziomy bezpiecznych napięć i prądów. Jest wersją przeznaczoną do zastosowań w procesach automatyki. Zapewnia transmisję danych i zasilanie urządzeń w środowiskach zagrożonych wybuchem.
- PROFIBUS DP (Decentralised Peripherals) zarządza urządzeniami typu **master**, które z kolei inicjują komunikację urządzeń typu **slave** będących węzłami rozproszonej sieci (tylko urządzenia typu master mogą inicjować komunikację w sieci; urządzenia typu slave odpowiadają jedynie na polecenia, nie mogą rozpoczynać komunikacji).

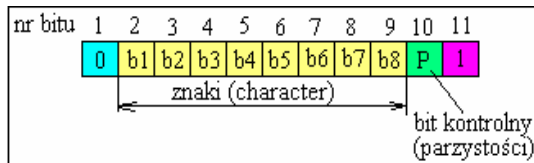


Rys. 57. Zasada działania sieci PROFIBUS [5]

Występują następujące tryby pracy:

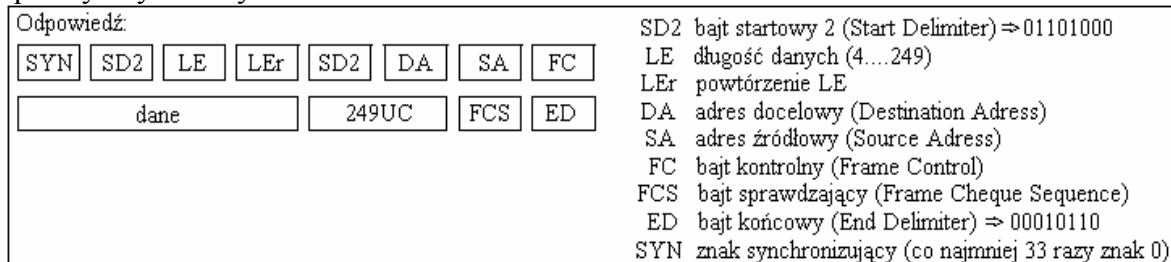
- dostęp do magistrali następuje w momencie otrzymania znacznika,
- cykliczne wysyłanie i odbieranie wiadomości kolejno przez wszystkich użytkowników,
- dostęp do magistrali ustalany przez użytkowników.

Wiadomości składają się z tzw. **znaków UC** (UATR – Characters). Znaki UC składają się z 11 bitów danych (rys. 58).



Rys. 58. Znak UC [5]

Istnieje kilka formatów ramek danych (rys. 59), dopasowanych do różnego rodzaju przesyłanych danych. Pakiet wiadomości może zawierać do 261 znaków UC.



Rys. 59. Format ramki [5]

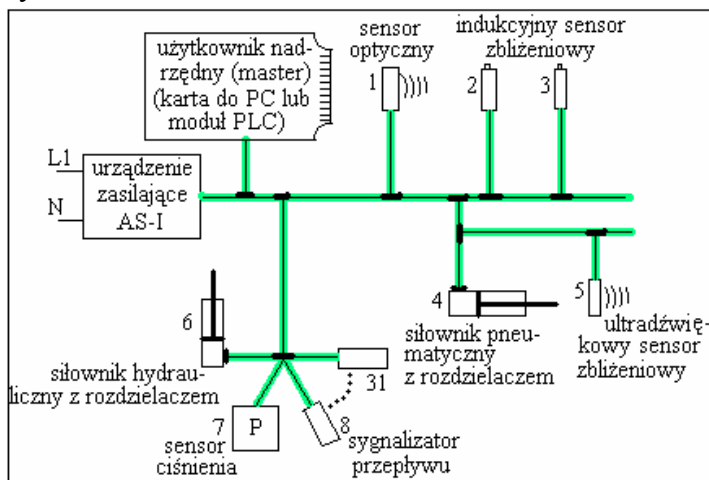
Modbus jest protokołem komunikacji cyfrowej typu półdupleks, zaprojektowanym przez AEG Schneider Automation dla przemysłowych sieci komputerowych. Jest to protokół software'owy. Określa współpracę urządzeń na zasadzie master/slave – jedno urządzenie master może zarządzać 247 urządzeniami typu slave. Modbus RTU (**R**emote **T**erminal **U**nit) jest indywidualną siecią Modbus dla zdalnego terminalu. Działa on na zasadzie wymiany tzw. pakietów, które zawierają adres odbiornika, polecenia do wykonania oraz dane. Oprócz tego przesyłany jest pakiet kontrolujący poprawność nadawanej/odbieranej informacji (cyclic redundancy check-sum).

Lokalna sieć przesyłu danych o topologii magistralowej – **Genius** I/O Communication Bus charakteryzuje się równoprawnym dostępem do sieci, w której “każdy z każdym” wymienia dane (**peer to peer**). Wg tej reguły informacje przesyłane są **ze stałym cyklem**,

wynoszącym od 20 do 200 ms, zależnym od szybkości transmisji i liczby transmitowanych bajtów, a także od liczby i typu elementów włączonych do sieci. Sieć Genius umożliwia też wymianę paczek danych w sieci, tzw. datagramów, wg reguły master – slave.

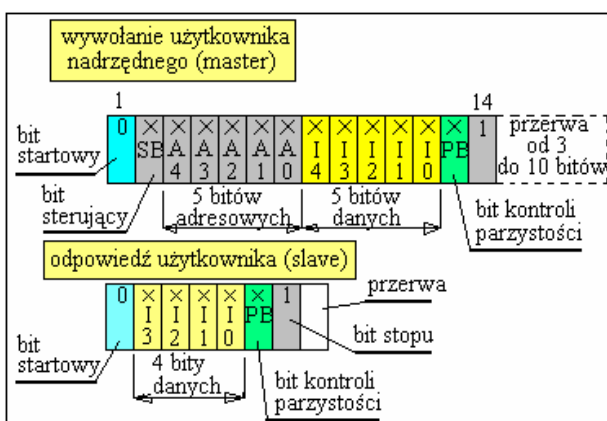
W sieci Genius możliwe jest włączenie do jednej magistrali sieciowej nie więcej niż 32 elementy, a max szybkość transmisji danych wynosi 153 kb/s. Długość magistrali może wynosić od 600 do 2200 m, odpowiednio dla prędkości transmisji od 153 do 38 kb/s. Dla łączenia PLC do sieci wykorzystywane są właściwe moduły sterownikowe.

Sieć **AS-I (Actuator Sensor-Interface)** służy do łączenia sensorów i urządzeń wykonawczych. Przesyłanie danych odbywa się tymi samymi przewodami, którymi dostarczana jest energia zasilająca sensory i aktory. Max prędkość przesyłania danych wynosi 167 kb/s. Max odstęp pomiędzy węzłami sieci (użytkownikami) nie przekracza 100 m. Do sieci może być podłączonych max 31 użytkowników. Liczbę użytkowników i odległości można zwiększyć przy pomocy powtarzaczy (repeater). Sterowanie magistralą realizuje użytkownik nadrzędny (master). Steruje on pozostałymi użytkownikami sieci, tzn. odpytuje po kolei sensory lub wysyła do wszystkich aktorów sygnały sterujące (rys. 60). Czynności te są powtarzane cyklicznie. Czas cyklu zależy od liczby urządzeń slave, jednak nigdy nie jest większy niż 5 ms.



Rys. 60. Fieldbus AS-I z przykładowymi sensorami i aktorami [5]

Operacja przekazania wiadomości składa się z 14 bitowego wywołania, przerwy po wywołaniu o długości od 3 do 10 bitów (master) oraz wysłania 7 –bitowej odpowiedzi zakończonej jednobitową pauzą (slave). Synchronizacja odbywa się przy użyciu bitów startu oraz stopu (rys. 61).



Rys. 61. Ramka wiadomości AS-I [5]

Przekazywane wiadomości mogą zawierać dane, parametry, rozkazy lub adresy (master).

Z 14 bitów wysyłanej przez użytkownika nadrzędnego wiadomości 5 bitów przeznaczonych jest do zaadresowania jednego z 31 użytkowników sieci, w kolejnych 5 bitach znajdują się informacje przeznaczone dla zaadresowanego użytkownika (slave). Użytkownik sieci przesyła do mastera 4 bity danych, np. wartości sygnałów wyjściowych sensora lub komunikat o pojawieniu się błędów.

Przy pomocy odpowiednich komend master może wyzerować (Reset) aktualny stan użytkownika, skasować jego adres, nadać mu nowy adres, odczytać lub skasować jego status. W trakcie instalacji sieci AS-I wszystkim użytkownikom muszą zostać przydzielone kolejne adresy. Istnieją moduły AS-I prowadzące automatycznie inicjalizację sieci. Za pomocą mastera, realizowanego w postaci karty do komputera bądź modułu do sterownika PLC, możliwy jest również transfer danych do systemu nadrzędnego, np. do sieci Ethernet.

Sieć **Interbus-S** stosowana jest przede wszystkim do łączenia sterowników, aktorów i sensorów ze sterownikami PLC oraz do tworzenia sieci sterowników PLC. W jej skład wchodzi: magistrala główna, karta sterująca magistralą (master) oraz przyłączeni do niej użytkownicy (slaves), wyposażeni w moduły wejścia/wyjścia. Moduły użytkowników są łączone magistralą zewnętrzną (peryferyjną) za pomocą 14-żyłowego przewodu, w magistrali głównej stosowany jest kabel 5-żyłowy lub światłowód. Maksymalna długość sieci (bez użycia powtarzaczy) dla pojedynczej magistrali zewnętrznej wynosi 10 m, dla magistrali głównej - 400 m. Moduły we/wy mają 8 wejść i wyjść przeznaczonych dla sygnałów binarnych.

4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś przygotowany do wykonywania ćwiczeń.

1. Na czym polega i jakie ma cechy transmisja danych w standardzie TTY?
2. Na czym polega organizacja sieci w topologii pierścienia?
3. Jaka rolę w sieciach magistralowych pełni tzw. token?
4. Jakie cechy posiada OSI, tzn. warstwowy model sieci?
5. Jak działa protokół komunikacyjny PROFIBUS DP?
6. Jak tworzona jest wiadomość w standardzie PROFIBUS?
7. Jak odbywa się przesyłanie informacji w sieci AS-I?
8. Na czym polega koordynacja transmisji szeregowej wg standardu RS 232C?

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dokonaj konfiguracji sieci typu PROFIBUS DP wg normy DIN 19245.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) poznać schemat układu sterowania procesem, wskazanego przez prowadzącego,
- 2) dokonać konfiguracji elementów tego układu,
- 3) sparametryzować protokół komunikacyjny między elementami układu,
- 4) dokonać diagnostyki sieci.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja sieci PROFIBUS DP,
- dokumentacja elementów układu sterowania procesem,

- literatura zgodne z punktem 6 Poradnika dla ucznia, poz.: [5], [6],
- komputer PC z wymaganym oprogramowaniem sieciowym.

Ćwiczenie 2

Uruchom komunikację wg protokołu RS 485.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) dokonać przyłącza urządzenia do portu szeregowego komputera nadrzędnego typu PC,
- 2) wykorzystać konwerter RS232 ⇒ RS 485 wraz z odpowiednim kablem łączeniowym,
- 3) uruchomić komunikację zgodnie ze standardem urządzeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja interfejsu RS 485 i norma DIN 19245 PROFIBUS,
- urządzenie sterujące ze sprzęgiem RS 485 i konwerterem + kable,
- literatura zgodnie z punktem 6 Poradnika dla ucznia, poz.: [5], [6].

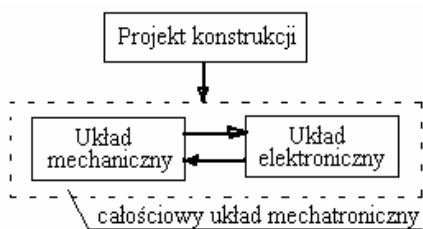
4.6.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1) uzasadnić potrzebę komunikacji między elementami systemu mechatronicznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić zasadę transmisji asynchronicznej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać typowe topologie protokołów komunikacyjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) podać cechy komunikacji w standardzie RS 485?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić format wiadomości wg protokołu PROFIBUS DP?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.7. Zasady projektowania urządzeń i systemów mechatronicznych

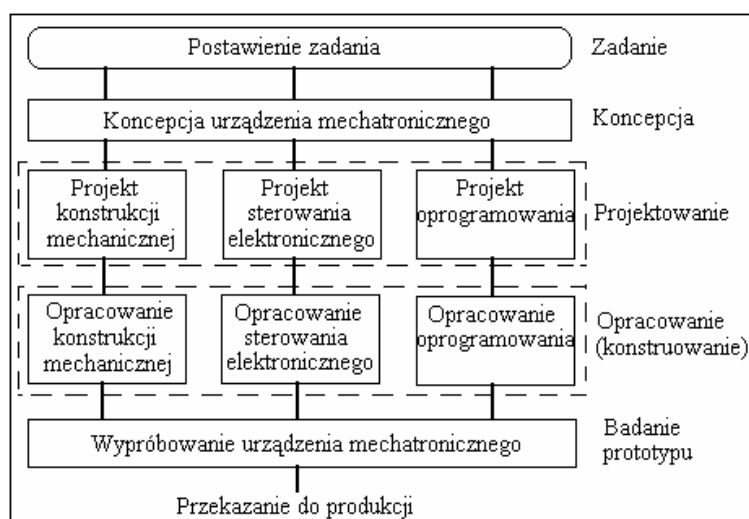
4.7.1. Materiał nauczania

Podczas projektowania i konstruowania systemów mechatronicznych wymagane jest współdziałanie dyscyplin mechanicznych (budowy maszyn, mechaniki precyzyjnej, mechaniki technicznej), elektrycznych (mikroelektroniki, elektroniki siłowej, sensoryki, techniki pomiarów, aktoryki) i informatycznych (teorii systemów, techniki automatyzacji, projektowania oprogramowania, sztucznej inteligencji). Płaszczyzną porozumienia specjalistów z tych dziedzin może być struktura funkcjonalna projektowanego urządzenia mechatronicznego. Czynnikiem integrującym podstawowe obszary robocze projektowania i konstruowania mechatronicznego (elektronika, mechanizmy, konstruowanie i sterowanie) jest metodyka, czy też technika konstruowania. Mechatroniczne podejście do projektowania i konstruowania charakteryzuje się tym, że system mechaniczny i elektroniczny od samego początku należy traktować jako zintegrowany przestrzennie i funkcjonalnie system całościowy. To, co łatwiej jest rozwiązać mechanicznie, rozwiązuje się środkami mechanicznymi, to zaś, co łatwiej jest rozwiązać elektronicznie – elektronicznymi i komputerowymi. Układ elektroniczny ma wpływ na kształtowanie systemu mechatronicznego już podczas projektowania (rys. 62).



Rys. 62. Mechatroniczne podejście do konstruowania [1]

Typowe fazy, przez jakie wielokrotnie przechodzi proces rozwoju produktu mechatronicznego, przedstawia rys. 63.



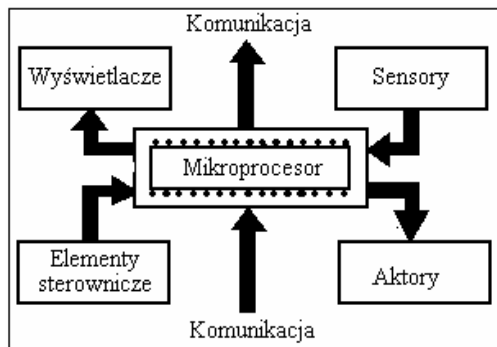
Rys. 63. Sposób postępowania w konstruowaniu urządzeń mechatronicznych [1]

Udane opracowanie mechatroniczne powinno zastąpić, uprościć lub poprawić elementy mechaniczne i/lub tworzyć nową funkcjonalność mechaniczną. Proces inżynierski zaczyna się od analizy wymaganej funkcjonalności mechanicznej i kończy się integracją wbudowanego systemu sterowania komputerowego z urządzeniem mechanicznym.

Wyraźnymi celami w rozwoju mechatroniki staje się modularność i rozproszenie architektury. Oznacza to, że konstrukcja złożonych systemów mechatronicznych powinna być oparta na modułach mechatronicznych o pewnym stopniu autonomii, ale ze zdolnością do komunikowania się w czasie rzeczywistym. Rozproszenie architektury oznacza zarówno decentralizację funkcji sterowniczych, jak i przestrzenne rozproszenie elementów sterowania.

Postępowanie w konstruowaniu urządzenia mechatronicznego rozpoczyna postawienie zadania. Czego te zadania powinny i mogą dotyczyć? Co wymagać od systemów mechatronicznych? Odpowiedź ułatwi: 1) zestawienie różnych elementów mechanicznych i maszyn, których charakterystyki mogą być potencjalnie poprawione przez integrację mechaniki z elektroniką, 2) rozpatrzenie różnych rodzajów przetwarzania informacji, 3) określenie wymagań, które ma spełniać układ elektroniczny.

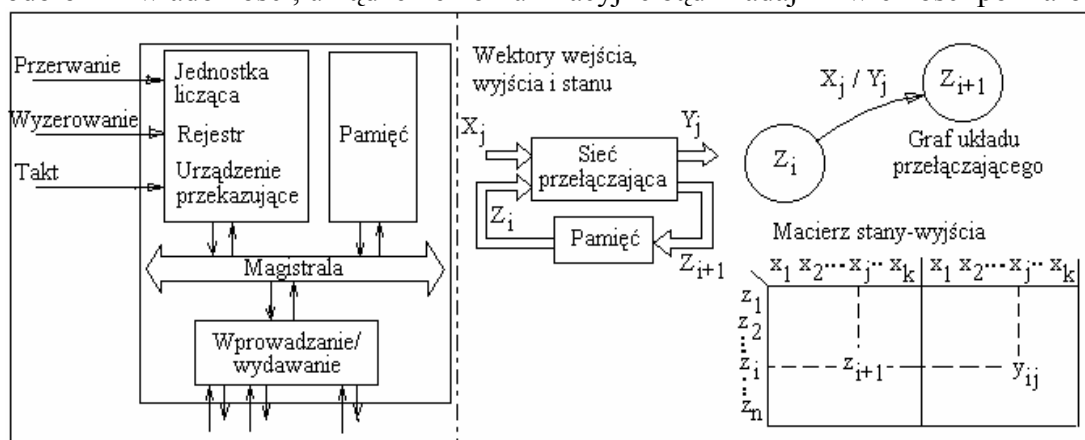
Płaszczyzną porozumienia specjalistów z różnych dziedzin podczas opracowywania zadania mechatronicznego jest struktura funkcjonalna urządzenia mechatronicznego, którego podstawowe funkcje i strumienie informacji dają się przedstawić za pomocą stosunkowo prostego schematu (rys. 64).



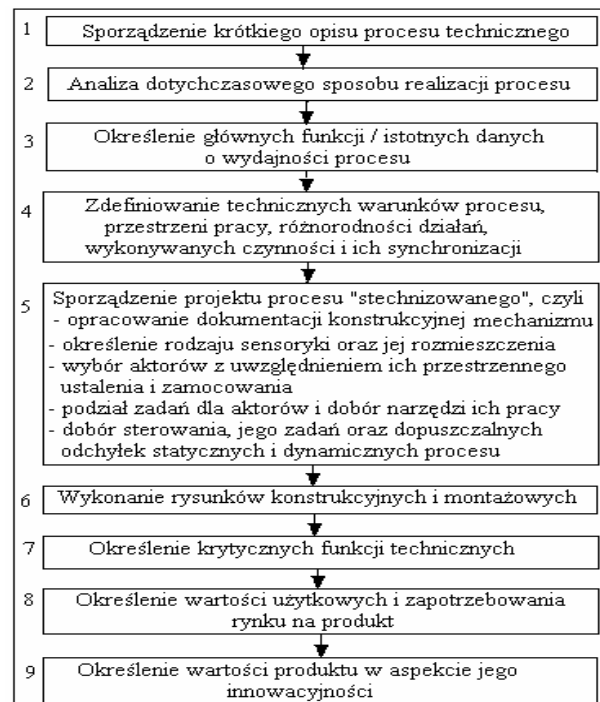
Rys. 64. Podstawowy schemat mechatronizacji urządzenia uniwersalnego [1]

To od przeznaczenia określonego urządzenia zależeć będzie, które elementy i kanały informacyjne z rys. 64 będą konieczne.

Niektóre typy urządzeń mechatronicznych nie będą wymagały komunikacji z człowiekiem lub innymi urządzeniami, dla innych będą niezbędne. Przykładem pierwszych może, być np. miernik, zegar, komputer, sterownik, czy też robot, przykładem drugich: nadajnik lub odbiornik wiadomości, urządzenie komunikacyjne bądź nadajnik wielkości pomiarowych.



Rys. 65. Mikroprocesor jako urządzenie przełączające i jego opis [1]



Rys. 66. Etapy procesu projektowania układów mechatronicznych

Mikroprocesor pełni w systemie mechatronicznym rolę urządzenia przełączającego. Wykonuje on przełączanie (sterowanie) w technice cyfrowej. Jego opis przedstawia rys. 65.

Urządzenia, które posiadają wbudowaną, opartą na mikroprocesorze inteligencję, potocznie nazywa się urządzeniami typu SMART. Jest ich coraz więcej nie tylko w podzespołach automatyki (np. przetwornikach pomiarowych, miernikach, sterownikach, regulatorach), ale również w przedmiotach codziennego użytku (np. pralki, kamery, aparaty fotograficzne, samochody, itp.).

Projektowanie urządzenia mechatronicznego układów mechatronicznych jest procesem wieloetapowym, który można realizować w kolejności, przedstawionej na rys. 66.

Aby zaprojektować układ sterowania o podanej strukturze należy:

- sformułować cel sterowania, określić wymagania, zidentyfikować dynamiczne i statyczne cechy maszyny roboczej,
- wybrać odpowiedni silnik oraz sposób sprzęgnięcia go z maszyną,
- dobrać źródła energii oraz sposób zasilania silnika,
- określić parametry kontrolowane zespołu napędowego oraz dobrać typy, miejsca rozmieszczenia sensorów i sposób transmisji sygnałów,
- wybrać typ urządzenia sterującego, określić jego strukturę, dobór parametrów oraz zdefiniować sposób komunikacji z operatorem,
- dokonać oceny właściwości układu sterowania.

4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś gotowy do wykonywania ćwiczeń.

1. Przez, jakie fazy przebiega proces rozwoju produktu mechatronicznego?
2. Jaka jest rola mikroprocesora w urządzeniu mechatronicznym?
3. Co jest podstawą porozumienia przy opracowywaniu systemu mechatronicznego?
4. Co oznacza pojęcie SMART w nazwie urządzenia?
5. Jakie elementy należy uwzględnić przy projektowaniu układu sterowania?
6. Co rozumiesz przez rozproszenie architektury systemu mechatronicznego?
7. Na czym polega modularność systemu mechatronicznego?
8. Co powinien zawierać projekt „technizowanego” mechatronicznie procesu?

4.7.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Opracuj plan „technizacji” ręcznego procesu montażu długopisów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zaproponować montaż w konfiguracji systemu mechatronicznego,
- 2) dokonać etatyzacji prac nad projektem,
- 3) dokonać oceny celowości wyboru.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja wyrobu wraz z oczekiwaniami rynku,
- katalogi elementów systemów mechatronicznych,
- literatura wg pkt. 6 Poradnika dla ucznia, poz.: [1], [8].

Ćwiczenie 2

Zaprojektuj algorytm sterownika pralki automatycznej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) opisać sposób działania pralki w cyklu automatycznym,

- 2) ustalić stany pracy pralki i przejścia między nimi,
- 3) narysować sieć działań systemu sterującego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna pralki,
- literatura zgodnie z punktem 6 Poradnik dla ucznia, poz.: [1], [8].

4.7.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- | | Tak | Nie |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) wyjaśnić rolę mikroprocesora w urządzeniu mechatronicznym? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) określić postępowanie przy projektowaniu urządzenia mechatronicznego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) scharakteryzować kolejne kroki przy projektowaniu układu sterowania? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) rozróżnić urządzenie i system mechatroniczny? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) wskazać bloki funkcjonalne w konkretnym urządzeniu mechatronicznym? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz kartę imieniem i nazwiskiem.
3. Zapoznaj się z zestawem pytań testowych.
4. Test zawiera 10 pytań. Do każdego pytania dołączone są 4 możliwości odpowiedzi. Tylko jedna jest prawidłowa.
5. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej karcie, stawiając w odpowiedniej rubryce znak X. W przypadku pomyłki odpowiedź błędną należy zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić prawidłową odpowiedź.
6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
7. Gdy odpowiedź będzie Ci sprawiać trudność, wtedy odłóż ją na później i wróć do niej w wolnym czasie.
8. Na rozwiązanie testu masz 45 min.
Powodzenia!

Zestaw pytań testowych

1. Wielkością wyjściową aktorów jest zwykle
 - a) ruch elementu wykonawczego.
 - b) energia lub moc mechaniczna.
 - c) natężenie prądu elektrycznego.
 - d) sygnał sterujący.
2. Układem regulacji jest
 - a) układ, w którym występuje urządzenie sterujące.
 - b) układ sterowania programowego.
 - c) zamknięty układ sterowania.
 - d) układ, w którym rolę decyzyjną pełni człowiek.
3. Sygnał cyfrowy powstaje w wyniku
 - a) dyskretyzacji przebiegu sygnału analogowego w czasie i w obszarze zmienności.
 - b) dyskretyzacji przebiegu sygnału analogowego w czasie.
 - c) dyskretyzacji sygnału analogowego w zakresie zmienności.
 - d) próbkowania sygnału analogowego.
4. 8-bitowy sygnał cyfrowy może być reprezentantem maksymalnie
 - a) 16 stanów sygnału.
 - b) 32 stanów sygnału.
 - c) 256 stanów sygnału.
 - d) 1024 stanów sygnału.
5. Modulacja PWM polega na odpowiedniej modyfikacji
 - a) amplitudy impulsu.
 - b) amplitudy i szerokości impulsu.
 - c) częstotliwości impulsu.
 - d) szerokości impulsu.

6. Wynikiem logicznej operacji alternatywy na bajtach w kodzie heksadecymalnym, jako: 9A i 6E jest
 - a) FE.
 - b) 8.
 - c) 15.
 - d) BC.
7. Jeżeli czas całkowania obiektu regulacji wynosi $T_c = 3[\text{sek}]$, to po czasie $t = 6[\text{sek}]$ przyrost jego sygnału wyjściowego po wymuszeniu $z(t) = 5 * 1(t)$ wyniesie
 - a) 3 %.
 - b) 5 %.
 - c) 10 %.
 - d) 15 %.
8. Jeżeli wartość zadana SP wynosi 30 %, natomiast uchyb regulacji 10 %, to wartość regulowana PV jest równa
 - a) 25 %.
 - b) 27 %.
 - c) 33 %.
 - d) 36 %.
9. Sterowanie skalarne falownikiem polega na stabilizacji
 - a) prądu w uzwojeniach silnika $I_{wzb} = \text{const}$.
 - b) strumienia, uzyskiwanej na podstawie charakterystyk statycznych $U/f = \text{const}$.
 - c) wartości skutecznej napięcia zasilania $U_{U-V-W} = \text{const}$.
 - d) częstotliwości napięcia zasilania uzwojeń silnika $f = \text{const}$.
10. Decentralizacja funkcji sterowniczych i przestrzenne rozproszenie elementów sterowania cechuje
 - a) systemy mechatroniczne o scentralizowanej strukturze.
 - b) systemy mechatroniczne o rozproszonej strukturze.
 - c) urządzenia mechatroniczne o budowie modułowej.
 - d) urządzenia mechatroniczne o budowie kompaktowej.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko

Projektowanie układów sterowania w urządzeniach i systemach mechatronicznych

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
Razem:					

6. LITERATURA

1. Gawrysiak M.: Mechatronika i projektowanie mechatroniczne, PB, Rozprawy naukowe Nr 44, Białystok 1997.
2. Brzóska J.: Regulatory cyfrowe w automatyce, MIKOM, Warszawa 2002.
3. Legierski T., Wyrwał J., Kasprzyk J., Hajda J.: Programowanie sterowników PLC, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 1998.
4. Trybus L.: Regulatory wielofunkcyjne, WNT Warszawa 1992.
5. Schmid Dietmar: Mechatronika, REA, Warszawa 2002.
6. Lesiak P., Świsulski D.: Komputerowa technika pomiarowa w przykładach, AGENDA WYDAWNICZA PAK, Warszawa 2002.
7. MERA – PNEFAL S.A.: Dokumentacja techniczno-ruchowa DTR U486-04.
8. Olszewski M., Barczyk J.: Manipulatory i roboty przemysłowe, WNT Warszawa 1992.
9. Barlik R., Nowak M.: Układy sterowania i regulacji urządzeń energoelektronicznych, WSiP, Warszawa 1998.