

Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny
Katedra Automatyki

ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
tel./fax.: (+48 81) 5384267 e-mail: automat@pollub.pl; wm.ka@pollub.p

LABORATORIUM
PODSTAW AUTOMATYKI
PODSTAW ROBOTYKI

Instrukcja do ćwiczenia nr

A3, R1

**NAPĘD ELEKTRYCZNY Z PRZETWORNICĄ
CZĘSTOTLIWOŚCI (FALOWNIKIEM)**

Wydział Mechaniczny

Sala 406

I. Cel ćwiczenia

- Celem dydaktycznym jest zapoznanie z budową, konfigurowaniem i podstawowymi właściwościami napędu złożonego z trójfazowego asynchronicznego silnika klatkowego zasilanego przetwornicą częstotliwości (pot. falownikiem).
- Celem praktycznym jest prawidłowe skonfigurowanie przetwornicy HITACHI SJ200 do pracy z silnikiem napędzającym dmuchawę promieniową a następnie uruchomienie i przetestowanie napędu.

II. Wiadomości podstawowe

Trójfazowe asynchroniczne silniki klatkowe są bardzo szeroko stosowane w napędach maszyn technologicznych. Prędkość obrotowa wirnika takiego silnika zależy głównie od częstości wirowania pola magnetycznego wytwarzanego wewnątrz nieruchomego stojana silnika. Nieobciążony zewnętrznym momentem wał wirnika osiąga prędkość bliską tzw. prędkości synchronicznej (równej prędkości wirowania pola), wynoszącej typowo: 1500obr/min dla silników z 2 parami biegunów i zasilanych przemiennym napięciem trójfazowym z sieci publicznej o częstości 50Hz. W miarę wzrostu zewnętrznego momentu hamującego wirnik silnika asynchronicznego zmniejsza swoją prędkość wirowania – występuje tzw. *poślizg* wirnika względem wirującego pola magnetycznego. Popularne silniki asynchroniczne obciążone nominalnym momentem pracują z poślizgiem $s \approx 10\%$, przykładowo: $n_{\text{wirnika}} \approx 1350\text{obr/min}$ dla prędkości synchronicznej $n_{\text{pola_magnetycznego}} = 1500\text{obr/min}$.

W budowie napędów, od których wymagana jest praca ze zmienną prędkością obrotową (często zmienianą bezstopniowo – płynnie), także stosuje się asynchroniczne silniki indukcyjne. Niezbędne jest wtedy zasilanie uzwojeń stojana silnika napięciem przemiennym trójfazowym o zmiennej częstości oraz zmiennej wartości napięcia skutecznego.

Do zmiany parametrów energii elektrycznej w sposób umożliwiający zasilanie silników indukcyjnych do pracy ze zmienną prędkością obrotową stosuje się tzw. *przetwornice częstotliwości* popularnie zwane *falownikami* (nazwa ta nie jest poprawna ale mocno utrwalona wśród użytkowników).

Przetwornica częstotliwości jest przekształtnikiem energoelektronicznym zmieniającym parametry energii elektrycznej z sieci publicznej (typowo prąd trójfazowy o parametrach 3x400VAC/50Hz, ewentualnie jednofazowy 1x230VAC/50Hz) do postaci prądu

trójfazowego o zmiennej częstotliwości (typowo w zakresie $0,5\text{Hz} \div 400\text{Hz}$) oraz zmiennej wartości napięcia (w zakresie $0\text{VAC} \div 400\text{VAC}$, ewentualnie $0\text{VAC} \div 230\text{VAC}$ gdy źródłem energii jest prąd jednofazowy).

Współczesne przetwornice częstotliwości (falowniki) mają mikroprocesorowy układ sterowania i są urządzeniami stosunkowo uniwersalnymi. Dzięki możliwości programowego skonfigurowania (modyfikacji) sposobu działania przetwornicy oraz wielu funkcji dodatkowych (np. algorytmu regulatora PID) można je stosować w różnych aplikacjach, tj. dostosować do konkretnych wymagań projektowanego napędu technologicznego. Dla przykładu:

- Rozkazy: ruchu silnika, kierunku obrotów oraz częstotliwości wyjściowej (zadanej prędkości dla silnika) mogą być zadawane przez użytkownika z pulpitu na obudowie falownika, albo alternatywnie sygnałami elektrycznymi od zdalnych elementów sterowniczych (przełączników, potencjometrów, sterownika PLC) doprowadzonymi do listwy sterującej falownika. Wybór źródła sygnałów następuje przez zmianę wartości odpowiednich parametrów (zawartości komórek w pamięci falownika) w fazie konfigurowania napędu.
- Czasy płynnego rozpędzania oraz zatrzymywania napędu (w zakresie od $0 \div n_{NOM}$) mogą być określane niezależnie w przedziałach od 0.01s do 100s.
- Minimalna oraz maksymalna prędkość obrotowa z jaką będzie pracował napęd mogą być określone niezależnie (w zakresie $0 \div n_{NOM}$).
- W trakcie rozpędzania oraz zwalniania napęd może „przechodzić” szybko (natychmiast) przez zakresy prędkości obrotowych mogących wywoływać niepożądane rezonanse w napędzanej maszynie (drżania) – tzw. częstotliwości zabronione.
- Niektóre falowniki mogą realizować algorytm regulatora PID i automatycznie dostosowywać aktualną prędkość obrotową silnika, tak aby stabilizować wartość określonej wielkości fizycznej – np. stabilizowanie natężenia przepływu powietrza z dmuchawy niezależnie od działania czynników dławiących przepływ. Inny przykład: automatyczna stabilizacja ciśnienia w miejskiej sieci wodociągowej (niezależnie od poziomu zapotrzebowania na wodę) poprzez zmianę prędkości obrotowej pomp.

Szczegółowych informacji o budowie, działaniu i zastosowaniach przetwornic częstotliwości dostacza **Instrukcja obsługi falowników serii SJ200** – strony od 1–12 do 1–19 – **lektura obowiązkowa!**. Wybrane fragmenty ww. instrukcji obsługi są dołączone do niniejszej instrukcji ćwiczeniowej.

III. Stanowisko ćwiczeniowe

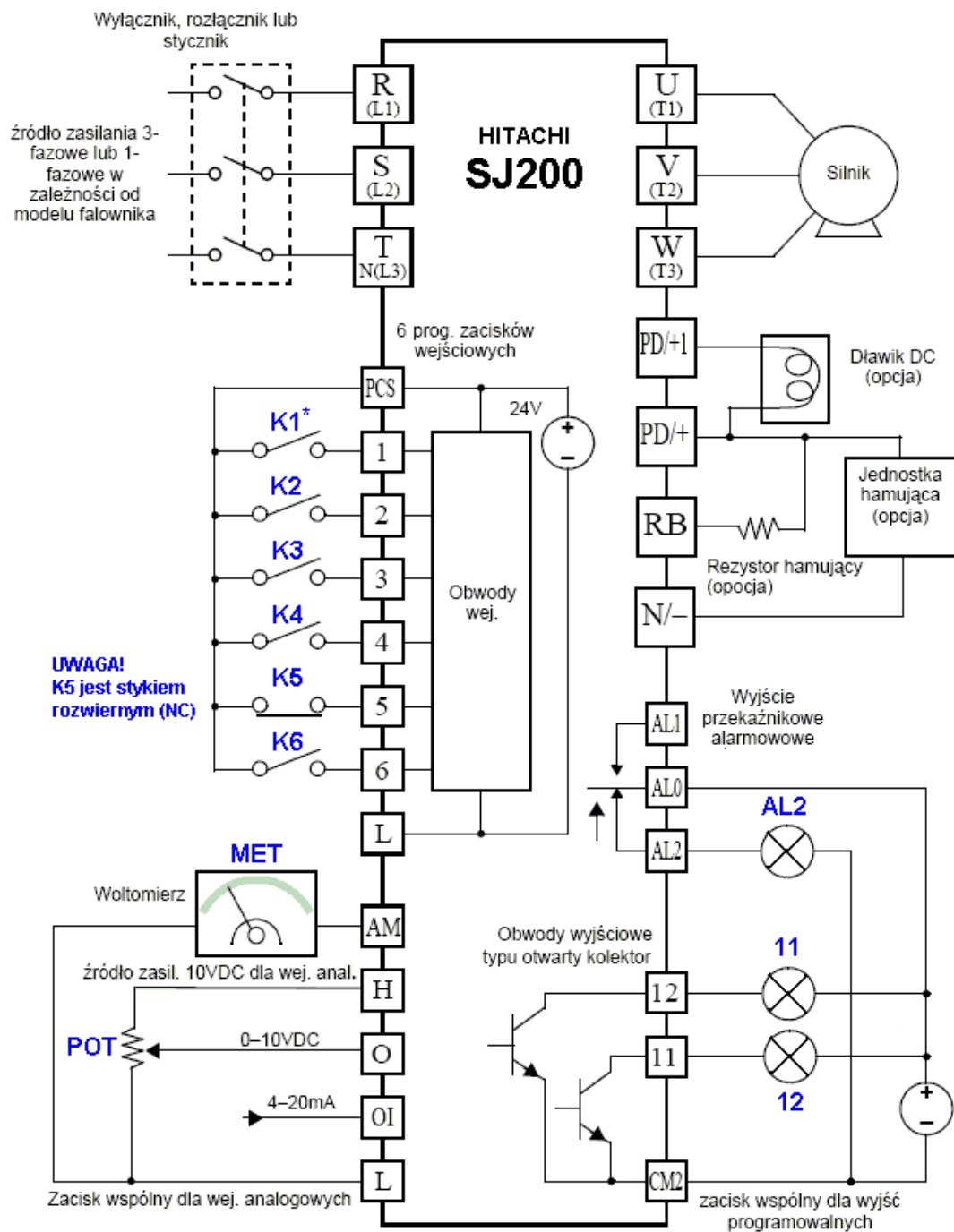
Widok stanowiska ćwiczeniowego przedstawiono na rys.1. W skład stanowiska wchodzi:

- przetwornica częstotliwości (falownik) typu HITACHI SJ200 o mocy wyjściowej 0,2kW,
- trójfazowy silnik asynchroniczny o mocy 0,12kW,
- zdalny pulpit sterowniczy (rys. 3.),
- dmuchawa osiowo-promieniowa,
- kanał powietrzny z przepływomierzem klapowym.

Schemat podłączenia elementów zewnętrznego pulpitu sterowniczego do falownika przedstawia rys.2. (elementy opisane symbolami w kolorze niebieskim).

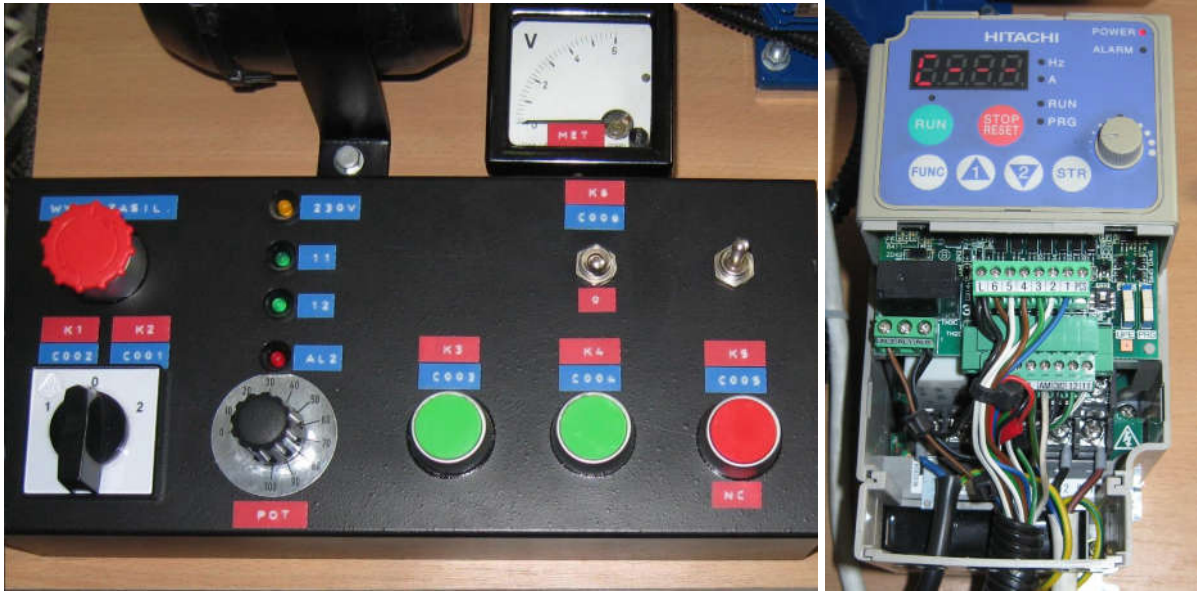


Rys. 1. Widok stanowiska ćwiczeniowego.

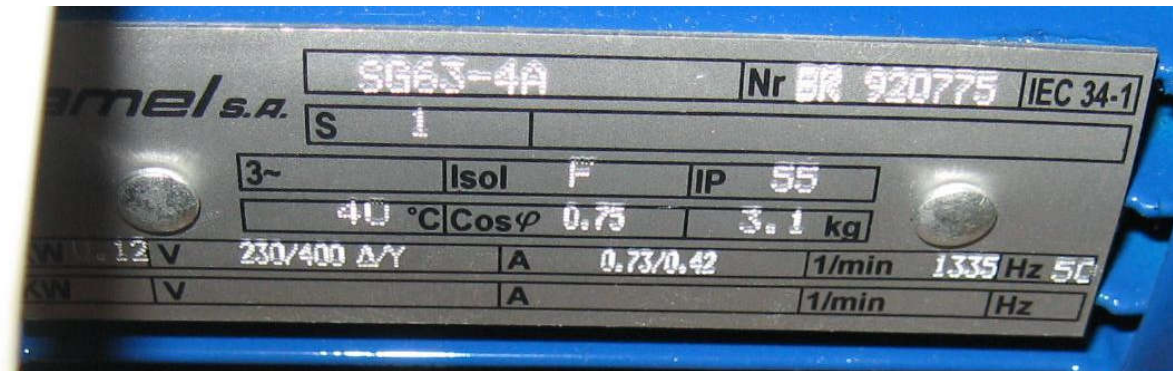


*) kolorem niebieskim opisano elementy zdalnego pulpitu sterowniczego

Rys. 2. Schemat podłączenia urządzeń zewnętrznych do zacisków elektrycznych falownika dla typowych zastosowań.



Rys. 3. Zdalny pulpit sterowniczy oraz widok zacisków listwy sterowniczej falownika.



Rys. 4. Widok tabliczki znamionowej silnika.



Rys. 5. Widok tabliczki znamionowej falownika.

IV. Pytania kontrolne

1. Narysować schemat blokowy i objaśnić zasadę działania przetwornicy częstotliwości do zasilania trójfazowych silników indukcyjnych (potocznie falownika).
2. Na czym polega „sterowanie skalarne” momentem obrotowym trójfazowego silnika indukcyjnego klatkowego?
3. Wyjaśnić znaczenie (różnice) dwóch parametrów falownika SJ200: A003 (częstotliwość bazowa) oraz A004 (częstotliwość maksymalna) – patrz str. 3-13 instrukcji obsługi falownika.
4. Czy napęd ze stanowiska ćwiczeniowego będzie pracował poprawnie gdy parametr A003 (częstotliwość bazowa) zostanie ustawiona na 30Hz? Uzasadnij odpowiedź.

V. Przebieg ćwiczenia

UWAGA!!! FALOWNIK ORAZ SILNIK SĄ ZASILANE WYSOKIM NAPIĘCIEM OSIĄGAJĄCYM NAWET 325V !!! NIGDY SAMODZIELNIE NIE DEMONTUJ OSŁONY ZACISKÓW ELEKTRYCZNYCH FALOWNIKA !!! (tj. osłony pod jego wyświetlaczem)

UWAGA!!! W STANOWISKU LABORATORYJNYM ZNAJDUJE SIĘ DMUCHAWA PROMIENIOWA NAPĘDZANA PRZEZ NIEOSŁONIĘTY WAŁ. NIE ZBLIŻAJ RĄK, WŁOSÓW ANI PRZEDMIOTÓW DO WIRNIKA DMUCHAWY LUB WAŁU NAPĘDOWEGO !!!

UWAGA!!! W PRZYPADKU NIEBEZPIECZEŃSTWA NATYCHMIAST WCIŚNIJ CZERWONY PRZYCISK AWARYJNEGO ZATRZYMANIA NAPĘDU (poniżej dmuchawy)

1. Przygotowanie stanowiska, zapoznanie z jego budową i identyfikacja głównych elementów napędu.

1.1. Wciśnij czerwony grzybek przycisku awaryjnego zatrzymania (wyłącznika zasilania) na zdalnym pulpicie stanowiska laboratoryjnego. Przycisk powinien pozostać wciśnięty (zarygluje się w tym położeniu samoczynnie).

1.2. Zidentyfikuj i wskaż na stanowisku laboratoryjnym jego podstawowe części składowe:

- przetwornicę częstotliwości (falownik),
- trójfazowy silnik asynchroniczny,
- dmuchawę promieniową (odśrodkową),
- sprzęgło helikalne,
- zdalny pulpit sterowniczy,
- przepływomierz klapowy,
- woltomierz magnetoelektryczny (analogowy).

- 1.3. Odczytaj z tabliczki znamionowej silnika i zapisz w sprawozdaniu jego podstawowe parametry:
- oznaczenie typu (modelu),
 - napięcie oraz prąd znamionowy (dla połączenia uzwojeń w konfiguracji gwiazdy oraz trójkąta),
 - częstotliwość znamionową napięcia zasilania,
 - znamionową prędkość obrotową,
 - moc znamionową.
- 1.4. Odczytaj z tabliczki znamionowej falownika i zapisz w sprawozdaniu jego podstawowe parametry:
- oznaczenie typu (modelu),
 - napięcie i prąd zasilania falownika (ang. input – wejście), falownik na stanowisku zasilany jest z jednej fazy 230VAC (ang. 1Ph = 1Phase),
 - napięcie i prąd wyjściowy falownika (ang. output – wyjście),
 - moc wyjściową,
 - częstotliwość (zakres) napięcia wyjściowego.
- 1.5. Zweryfikuj i zapisz w sprawozdaniu (z uzasadnieniem), czy silnik na stanowisku może być zasilany tym modelem falownika? **Wskazówka:** porównaj wartości nominalnego prądu fazowego silnika oraz nominalnego prądu wyjściowego falownika (uzwojenia silnika na stanowisku są połączone są w konfiguracji trójkąta).
- 1.6. Ustaw pokrętko przełącznika pulpitu oznaczonego K1/K2 w pozycję „0”.
- 1.7. Obróć gałkę potencjometru pulpitu oznaczonego POT w lewo do oporu (minimum).
- 1.8. Odrygluj przycisk awaryjnego zatrzymania (obróć grzybek w lewo). Wyświetlacz cyfrowy na pulpicie czołowym falownika powinien wskazywać informacje (litery lub cyfry). UWAGA! Jeżeli wyświetlacz falownika pokazuje wirujące segmenty to oznacza to, że jeden z sygnałów podłączonych do zacisków [1]...[6] listwy sterującej falownika wymusza procedurę zerowania (kasowania blokady) falownika. W takim przypadku poproś o pomoc nauczyciela.
- 1.9. Przywróć nastawy fabryczne falownika - poproś o pomoc nauczyciela.

2. Konfiguracja podstawowych parametrów napędu

- 2.1. Zapoznaj się z obsługą panelu sterowania falownika (patrz instrukcja użytkownika, strony od 3-3 do 3-5).

2.2. Skonfiguruj podstawowe parametry pracy napędu zgodne z danymi znamionowymi silnika:

- **A003** – częstotliwość bazowa (patrz instrukcja użytkownika, strona 3-13),
- **A004** – częstotliwość maksymalna (patrz instrukcja użytkownika, strona 3-13),
- **B012** – prąd znamionowy silnika (patrz instrukcja użytkownika, strony 3-35, 3-36). **Wskazówka:** uzwojenia silnika na stanowisku połączone są w konfigurację trójkąta.
- **H004** – liczba par biegunów silnika (patrz instrukcja użytkownika, strona 3-62); **Wskazówka:** silniki trójfazowe o prędkości znamionowej ok. 1400obr/min i częstotliwości 50Hz mają 2 pary biegunów.

UWAGA! Zapisuj w sprawozdaniu wartości wszystkich parametrów, które modyfikujesz.

2.3. Skonfiguruj podstawowe parametry biegu silnika:

2.4. Wybierz algorytm sterowania silnikiem ze stałym momentem ($U/f = \text{const}$) – parametr **A044** (patrz instrukcja użytkownika, strona 3-17).

2.5. Skonfiguruj parametry określające źródło sygnału rozkazu biegu silnika oraz źródło sygnału zadawania częstotliwości wyjściowej falownika:

- **A002** – zadawanie rozkazu biegu; ustaw na przycisk RUN z pulpitu sterowania na płycie czołowej falownika (patrz instrukcja użytkownika, strona 3-10).
- **A001** – zadawanie częstotliwości wyjściowej; ustaw na sygnał analogowy doprowadzony do listwy sterującej falownika (patrz instrukcja użytkownika, strona 3-10).

Wskazówka: do wejścia analogowego „O” listwy zaciskowej falownika doprowadzone jest napięcie wyjściowe z potencjometru POT na zdalnym pulpicie sterowniczym (patrz rys.2.).

2.6. Ustaw wartość parametru **C005** na 255 (objaśnienie w dalszej części ćwiczenia).

2.7. **Poproś nauczyciela o zweryfikowanie poprawności twoich nastaw.**

3. Podstawowy test działania napędu i monitorowanie jego pracy

3.1. Zadaj rozkaz biegu silnika przez naciśnięcie przycisku RUN a następnie zmieniaj zadaną wartość częstotliwości wyjściowej falownika za pomocą potencjometru POT pulpitu zdalnego. Obserwuj zachowanie napędu.

- 3.2. Wybierz z pulpitu sterowania falownika parametr **d001** i naciśnij przycisk SET – wyświetlacz podaje aktualną wartość częstotliwości wyjściowej w hercach (Hz). Zmieniaj zadaną wartość częstotliwości za pomocą potencjometru lub zmieniaj wartość sygnału rozkazu biegu (przycisk RUN) i obserwuj wyświetlacz.
- 3.3. Analogicznie do 3.2. wybierz wyświetlanie wartości parametru **d002** – monitorowanie natężenia prądu fazowego silnika. Obserwuj wskazania dla różnych częstotliwości wyjściowych. Zapisz w tabeli natężenie prądu pobieranego przez silnik dla całego zakresu częstotliwości (co 10Hz).
- 3.4. Analogicznie do 3.2. wybierz wyświetlanie wartości parametru **d013** – monitorowanie wartości skutecznej napięcia wyjściowego (do uzwojeń silnika). Obserwuj wskazania dla różnych wartości częstotliwości wyjściowej. Zapisz w tabeli wartości napięć dla całego zakresu częstotliwości (co 10Hz).
- 3.5. Analogicznie do 3.2. wybierz wyświetlanie wartości parametru **d005** – stan zacisków wejściowych listwy sterującej. Obserwuj wskazania wyświetlacza naciskając przyciski pulpitu K1÷K6. Zwróć szczególną uwagę na sposób działania przycisku K5 ze stykiem rozwiernym (patrz także schemat na rys. 2).

Wskazówka: szczegółowe informacje na temat monitorowania pracy napędu (także innych wielkości) zawiera instrukcja obsługi – strony 3-6 i 3-7.

4. Zmiana kierunku oraz sposobu zadawania sygnałów biegu oraz prędkości silnika

- 4.1. Gdy rozkaz biegu silnika zadawany jest przyciskiem RUN to zmiana kierunku obrotów wymaga zmiany wartości parametru **F004** (patrz instrukcja obsługi, strona 3-9). Zmień wartość parametru **F004** i przetestuj napęd. **UWAGA!** Zmiana wartości F004 możliwa jest tylko wtedy gdy falownik nie jest w trybie RUN.
- 4.2. Przetestuj działanie napędu po wykonanej zmianie.
- 4.3. Zmień źródło sygnałów zadawania rozkazu biegu silnika na sygnały doprowadzone do listwy sterującej falownika – parametr **A002** oraz **C001** i **C002** (strony instrukcji: 3-10 oraz 3-45÷3-47). Dwa styki zwierne K1 i K2 przełącznika obrotowego na zdalnym pulpicie sterowniczym podłączone są do wejść ozn. [1] oraz [2] listwy sterującej falownika (patrz rys.2.). Niech:
 - obrót przełącznika w prawo (zamknięcie styku K1) zadaje rozkaz biegu w przód (FW = ang. forward – w przód) – parametr **C001**,
 - obrót przełącznika w lewo (zamknięcie styku K2) zadaje rozkaz biegu wstecz (RV = reverse – z ang. wstecz) – parametr **C002**.

- 4.4. Przetestuj działanie napędu po wykonanych zmianach. Zwróć szczególną uwagę na reakcję napędu na gwałtowną zmianę rozkazu kierunku obrotów. Zapisz wnioski z obserwacji.

5. Zadawanie częstości wyjściowej falownika dwoma sygnałami dwustanowymi +/- (przyspieszanie/zwalnianie) – tzw. motopotencjometrem

Żądana częstotliwość wyjściowa falownika (prędkość silnika) może być zadawana za pomocą dwóch sygnałów dwustanowych 0/24V (zamiast sygnału ciągłego 0÷10V z potencjometru POT). Stan aktywny jednego z tych sygnałów (typowo napięcie ok. 24Vdc) powoduje zwiększanie częstości wyjściowej falownika z czasem narastania ustawionym parametrem **F002**. Stan aktywny drugiego sygnału powoduje „zwalnianie” silnika z czasem opadania określonym w **F003**.

- 5.1. Ustaw źródło zadawania częstości wyjściowej za pomocą dwóch przycisków zdalnego pulpitu sterowniczego: K3 – zwalnianie, K4 – przyspieszanie. Styk K3 podłączony jest do zacisku [3] listwy sterowniczej falownika, styk K4 do zacisku [4] listwy (patrz rys.2.).

Wskazówka: Ustaw wartości parametrów **C003** i **C004** (patrz instrukcja obsługi, strony 4-29, 4-30). Wartość parametru **A001** musi być ustawiona na 02.

- 5.2. Przetestuj działanie napędu po wykonanych zmianach. Parametr **F001** określa zadaną wartość częstości wyjściowej nastawionej „motopotencjometrem” czyli przyciskami K3/K4. Zmień wartości czasu rozpędzania i zwalnia (**F002/F003**) i ponownie przetestuj napęd.

UWAGA! Jeżeli podczas przywracania nastaw fabrycznych falownika wybrałeś ustawienia dla Stanów Zjednoczonych (US) to do zwalniania prędkości musisz zastosować przycisk ze stykiem rozwiernym K5 (tzn. silnik będzie zwalniał gdy na zacisk [5] podane zostanie napięcie 0V).

6. Ograniczenie zakresu częstości wyjściowej falownika

- 6.1. Ogranicz zakres częstości wyjściowej f generowanej przez falownik do $5\text{Hz} \leq f \leq 25\text{Hz}$ – parametry **A062** i **A061** (patrz instrukcja, strona 3-23).
- 6.2. Przetestuj działanie napędu obserwując częstość wyjściową – **d001**.
- 6.3. Zmień źródło zadawania sygnału częstości wyjściowej na sygnał z potencjometru POT (patrz polecenie 2.5.).
- 6.4. Ponownie przetestuj działanie napędu.

7. Zadawanie rozkazu biegu silnika impulsami START/STOP

7.1. Skonfiguruj źródło sygnału żądania biegu silnika w następujący sposób:

- impuls z przycisku K4 (funkcja START) włącza napęd na stałe (silnik pracuje także po zwolnieniu przycisku),
- impuls z przycisku K5 (funkcja STOP) wyłącza napęd. UWAGA! Przycisk K5 ma styk rozwierny – patrz rys.2.,
- niech przełącznik K6 określa kierunek obrotów silnika.

Wskazówka: ustaw odpowiednie wartości parametrów **C004**, **C005**, **C006** (patrz instrukcja, strony 4-26, 4-27).

7.2. Przetestuj działanie napędu.

Załączyć strony instrukcji obsługi:

1-12 – 1-19

3-3 – 3-7

3-9

3-10

3-13

3-23

3-35 – 3-36

3-45

3-62

4-29

4-30