



**POLITECHNIKA  
RZESZOWSKA**  
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ  
BUDOWY MASZYN  
I LOTNICTWA**  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

## KATEDRA TECHNIK WYTWARZANIA I AUTOMATYZACJI

Przedmiot:

**Napęd i sterowanie maszyn**

Temat  
ćwiczenia:

Napęd mechaniczny z silnikiem  
bezszcotkowym

Numer ćwiczenia:  
**2**

### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową, zasadą działania oraz cechami charakterystycznymi układu serwonapędu z silnikiem bezszczotkowym stosowanych we współczesnych obrabiarkach CNC. Ponadto student może zapoznać się z nowoczesnymi układami sterującymi oraz ich możliwościami w zakresie kształtowania charakterystyki mechanicznej napędu poprzez dobór wartości wzmocnień układów regulacji położenia i prędkości.

### 2. Przebieg ćwiczenia

1. Uruchomić układ pod nadzorem prowadzącego ćwiczenia.
2. Przeprowadzić konfigurację układu zgodnie z instrukcją stanowiskową.
3. Wykonać procedurę najazdu na punkt referencyjny.
4. Wykonać pomiary dokładności i dynamiki ruchu suportu dla podanych parametrów.
5. Zmienić rodzaj regulatora.
6. Wykonać pomiary dokładności i dynamiki ruchu suportu z jednoczesną rejestracją błędu nadążania.
7. Zarejestrowane przebiegi zapisać na nośniku USB w celu sporządzenia sprawozdania.

### 3. Wytyczne do opracowania sprawozdania

Sprawozdanie studenci wykonują indywidualnie i samodzielnie.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- datę ćwiczenia, grupę, imię i nazwisko osoby biorącej udział w ćwiczeniu,
- schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego,
- dane wejściowe podane przez prowadzącego ćwiczenia,
- wykres odpowiedzi układu na wymuszenie skokowe dla podanych wartości wzmocnień regulatorów położenia i prędkości, kształtu charakterystyki i wartości czasów rozpędzania i hamowania.
- wnioski.

## **Silniki BLDC**

BLDC. Nazwa ta wynika z angielskiego określenia brushless DC motor i jest powszechnie używana. Często też mówiąc o silnikach BLDC, używa się wyrażenia "silnik z komutacją elektroniczną".

Bezkomutatorowe silniki prądu stałego należą do grupy silników synchronicznych. Wobec tego pola wytwarzane przez uzwojenia stojana i magnesy trwale osadzone na wirniku poruszają się z tymi samymi prędkościami.

Sposób zasilania faz silnika zależy od sygnałów sterujących generowanych w oparciu o położenie wirnika. Ich zsynchronizowanie pozwala uzyskać stały moment i prędkość obrotową silnika.

Zastąpienie komutatora mechanicznego elektronicznym ma wiele zalet. Brak szczotek na komutatorze oznacza brak wyładowań łukowych. Zmniejsza to zakłócenia radioelektryczne i pozwala stosować silniki w środowiskach wybuchowych. Zwiększa również bezawaryjność silnika i jego trwałość.

Dzięki zastosowaniu komutatora elektronicznego można łatwo zmieniać charakterystyki silnika. Mimo, że silnik BLDC jest silnikiem synchronicznym nie występuje w nim zjawisko utraty synchronizmu. Wynika to ze sposobu wytwarzania pola magnetycznego w stojanie. Jest ono wytwarzane w funkcji kąta położenia wirnika względem stojana, a więc jest samoczynnie zsynchronizowane z polem wirnika.

W przypadku wystąpienia przeciążenia silnik po prostu zmniejsza swoją prędkość obrotową, podobnie jak silnik prądu stałego.

## **Budowa silnika**

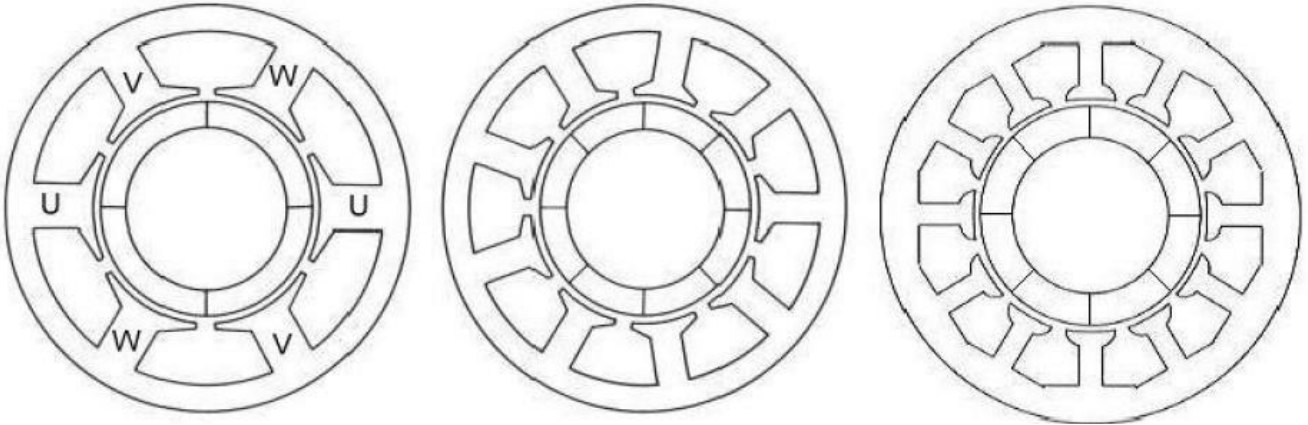
Silnik bezszczotkowy prądu stałego jest odpowiednikiem odwróconego konwencjonalnego silnika prądu stałego z magnesami trwałymi.

W silniku bezszczotkowym prądu stałego wirnik zawierający magnesy stałe przemieszcza się względem uzwojeń umieszczonych w żłobkach stojana.

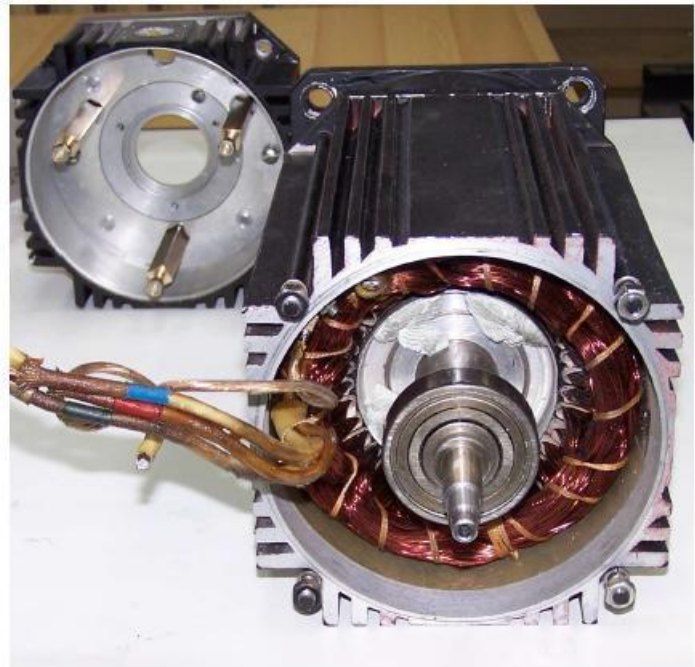
Podobnie jak w wypadku konstrukcji konwencjonalnej, tutaj także prąd płynący w uzwojeniach musi zmieniać swoją biegunowość za każdym razem, gdy biegun wirnika minie uzwojenie danej fazy, aby zapewnić jednokierunkowość wytworzonego momentu.

Tak, więc przepływ prądu i jego biegunowość musi być synchronizowana ze zmianą położenia wirnika.

Większa liczba biegunów gwarantuje bardziej równomierne rozłożenie momentu napędowego, a mniejszy krok pozwala uzyskać większą moc przy małych prędkościach obrotowych. Poniżej przedstawiono przykładowe konstrukcje silników BLDC:



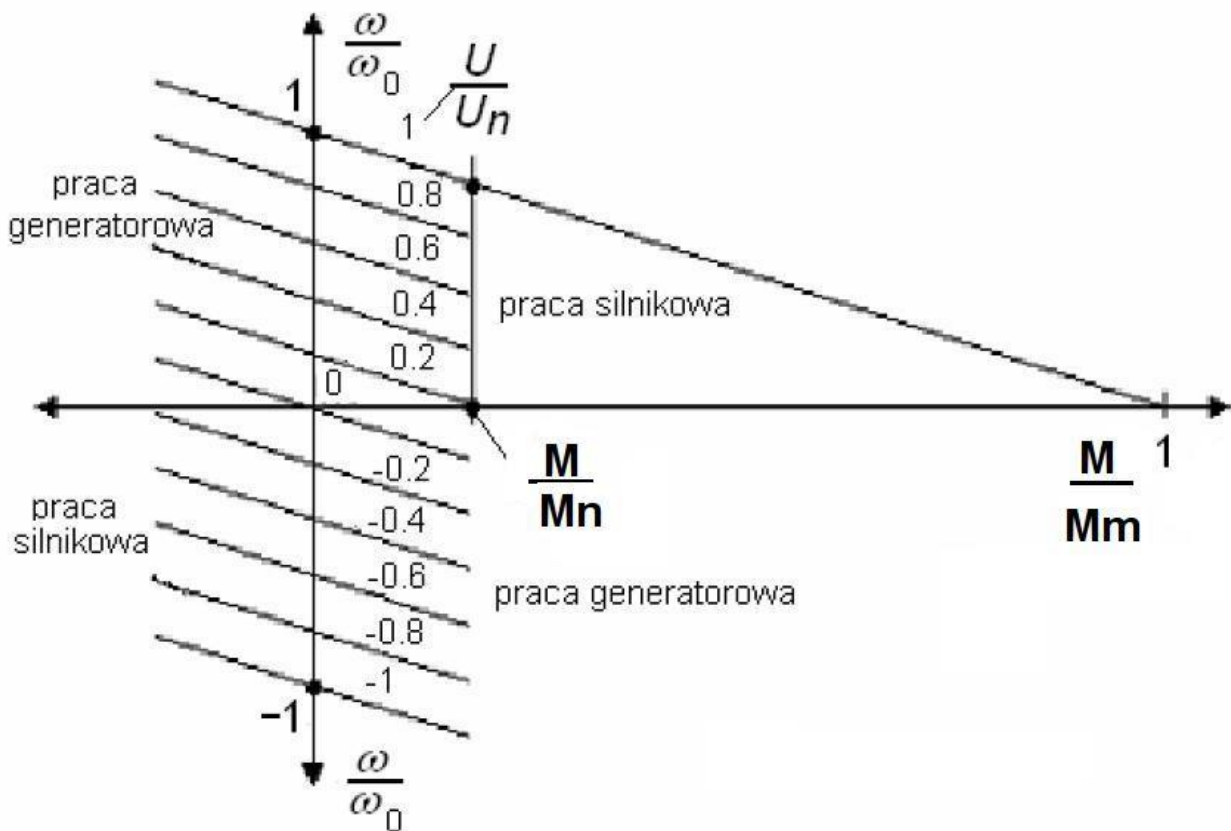
Rys.1 Konstrukcje silników BLDC



Rys.2 Konstrukcje silników BLDC

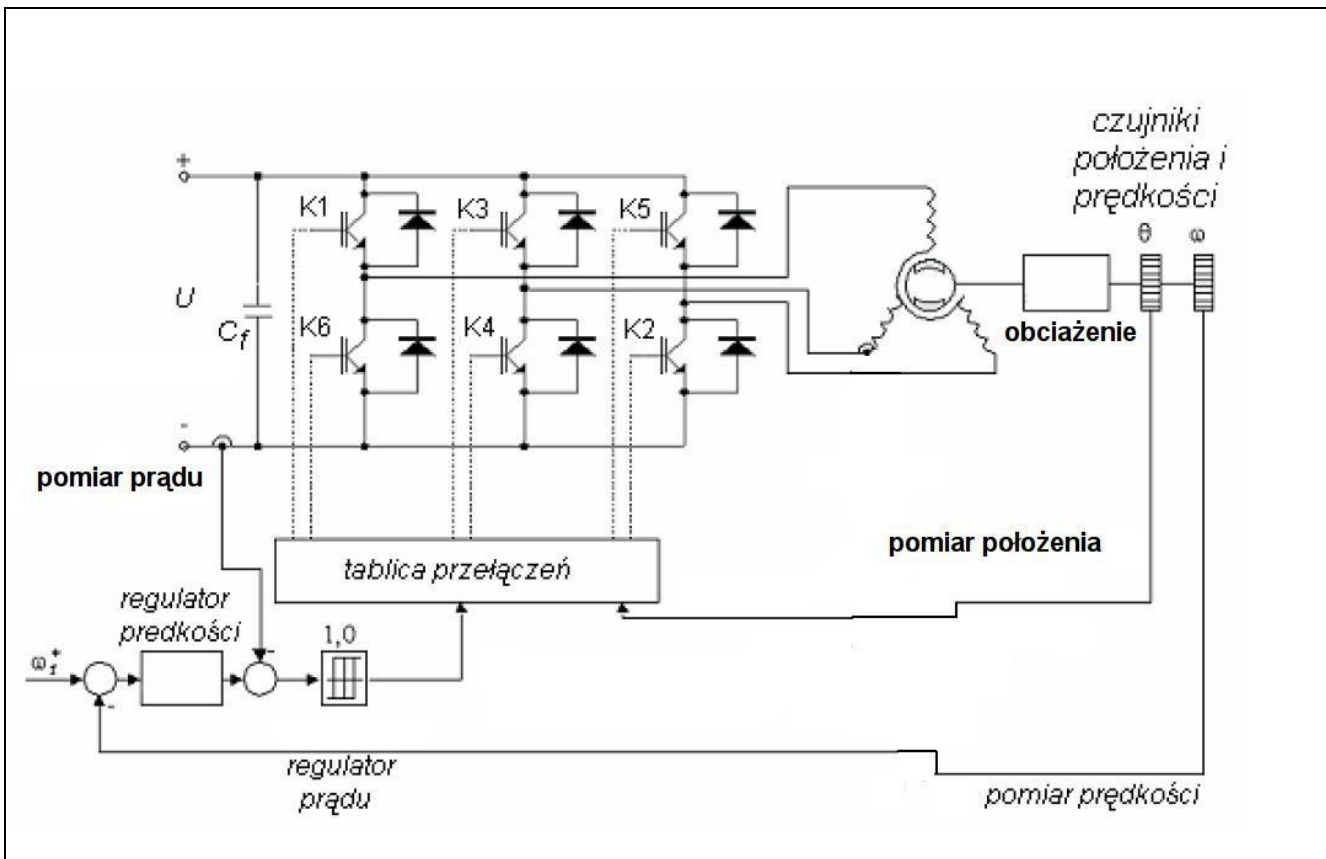
Główne zalety silnika bezszczotkowego w porównaniu z innymi silnikami to:

- bardzo duża sprawność,
- liniowa charakterystyka mechaniczna,
- wysoki stosunek momentu rozwijanego do gabarytów,
- brak komutatora,
- bardzo mała inercja wirnika.



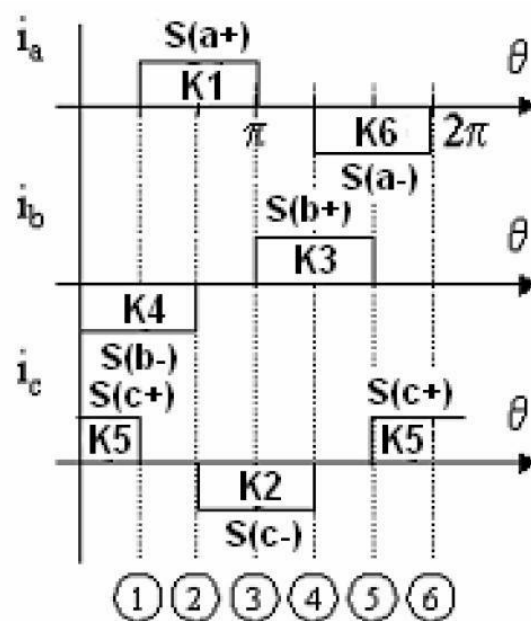
Rys.3 Idealizowana zależność prędkości obrotowej silnika bezszczotkowego prądu stałego od momentu obciążenia.

Najprostszy układ zasilania silnika bezszczotkowego prądu stałego składa się z falownika (układu mostkowego kluczy tranzystorowych) realizującego sterowanie PWM, czujnika położenia wirnika i układu regulacji prędkości obrotowej (napięcia) i kontroli prądu zasilającego.

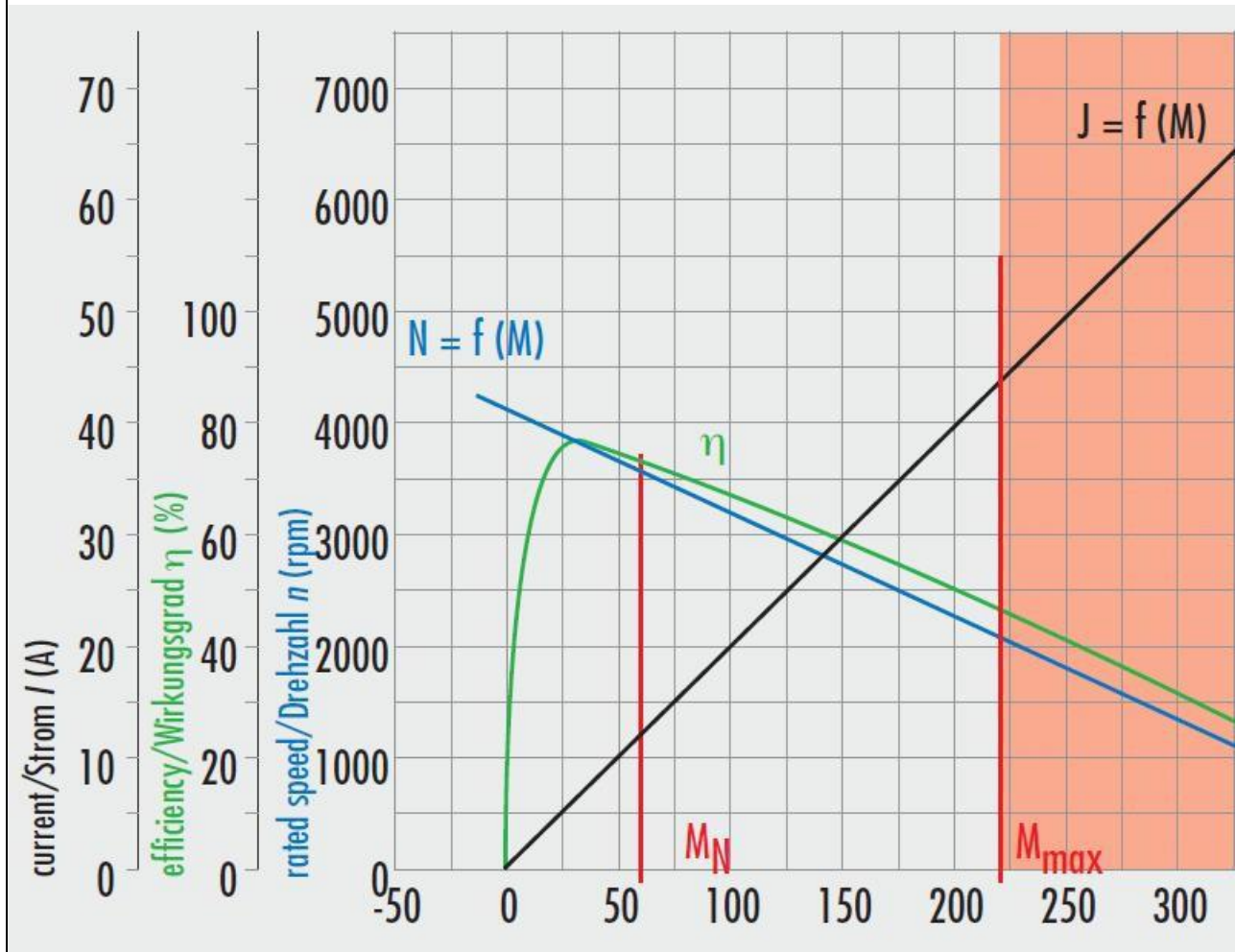


Rys.4 Układ sterowania silnikiem BLDC.

Podczas obrotu wirnika o  $360^\circ$  realizowanych jest kolejno kombinacja 6-ciu różnych stanów pracy (jednoczesnego załączenia) par tranzystorów (kluczy) układu mostkowego – K1,K2 ; K2,K3 ; K3,K6 ; K6,K5 ; K5,K4 oraz K4,K1.



Dzięki zdolności regulacji prądu sterownik umożliwia dokonanie rozruchu silnika bezszczotkowego bez potrzeby stosowania specjalnych oporników rozruchowych.



Rys.4 Charakterystyki mechaniczne i elektryczne silnika BLDC, odpowiednio:

- prąd w funkcji momentu obciążenia,
- prędkość obrotowa w funkcji momentu obciążenia,
- sprawność silnika w funkcji momentu obciążenia.



Celem niniejszego ćwiczenia jest opanowanie podstaw obsługi systemu z serwonapędem, a w szczególności:

- uruchamianie serwonapędu
- wykonanie ruchu referencyjnego
- sterowanie prędkością
- sterowanie pozycją

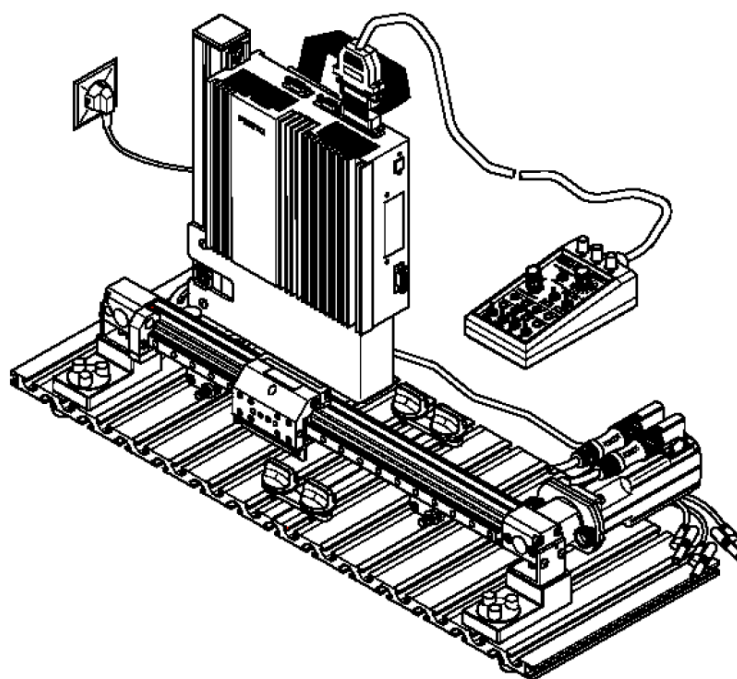
### Uruchamianie serwonapędu

Aby prawidłowo i bezpiecznie użytkować układ konieczne jest zapoznanie się z aplikacją Wmemoc oraz początkowymi ustawieniami niezbędnymi do poprawnej pracy układu.

Wprowadzenie

W ćwiczeniu tym nauczysz się:

- ustanawiać komunikację pomiędzy komputerem PC a modułem SEC-AC,
- ustawiać opcje programu Wmemoc oraz wczytywać zestaw ustawień Festo,
- przeprowadzić ręczne sprawdzenie sprzętu,
- sprawdzać ustawienia okien dialogowych „Command” oraz „Reference Position”,
- aktywować system serwonapędu.



*Rysunek 1: Zmontowany układ serwonapędu z silnikiem bezszczotkowym.*

## Szczegółowe instrukcje.

Zanim włączysz zasilanie sprawdź czy panel sterowania jest podłączony do kontrolera (nie uruchamiaj jeszcze aplikacji Wmemoc)

Główny wyłącznik zasilania jest w pozycji OFF.



← W dół jest WYŁĄCZONE

Rysunek 2: Główny wyłącznik zasilania.

## Sprawdzenie panelu.

Przełącznik (Regler) jest wyłączony (pozycja w dół - OFF) – zielona dioda zgaszona. Wzmacniacz mocy (Endst.) jest wyłączony (pozycja w dół - OFF) – zielona dioda zgaszona. Wszystkie inne przełączniki są wyłączone (pozycja w dół), a potencjometry są ustawione na pozycje zerowe.



Rysunek 3: Panel sterowania



## Załączenie zasilania

Element napędzany powinien znajdować się w środkowym położeniu.

Zasilanie załączamy zawsze w następującej kolejności:

- napięcie główne (~230V),
- napięcie pomocnicze 24V,

Po przeprowadzeniu autotestu na przodzie modułu SEC-AC zaświeci się dioda READY.

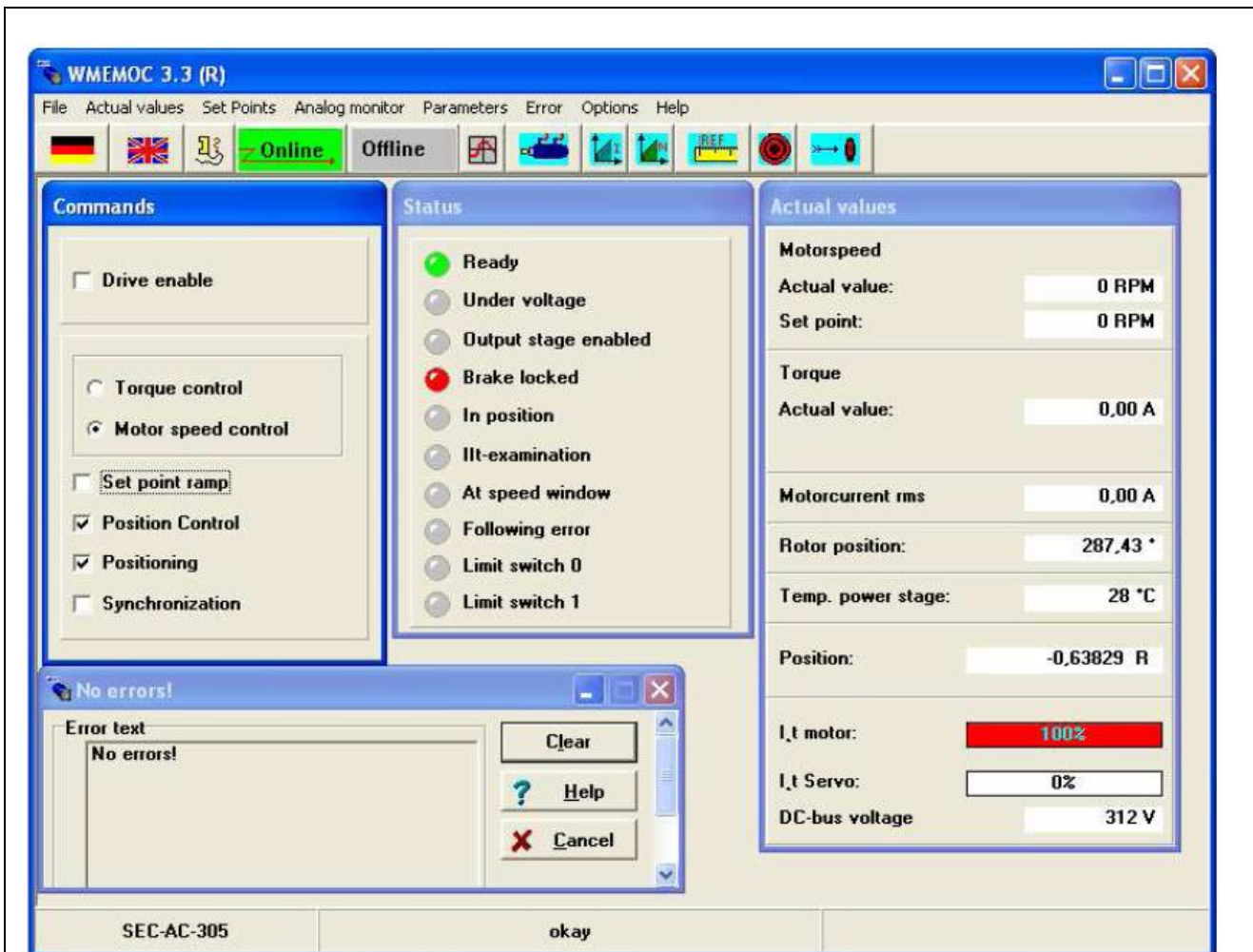
**Uwaga : Wyłączanie układu w odwrotnej kolejności**

Jeśli pojawią się komunikaty o błędach, popraw:

Błąd	Procedura
Error 2	Sprawdź zasilanie układu SEC-AC. Upewnij się że włączasz układy w odpowiedniej kolejności
Error 3	Sprawdź połączenia silnika; kabel do serwonapędu. Jeśli to konieczne wyjmij go podłącz ponownie.

## Ustanowienie komunikacji między PC a SEC-AC

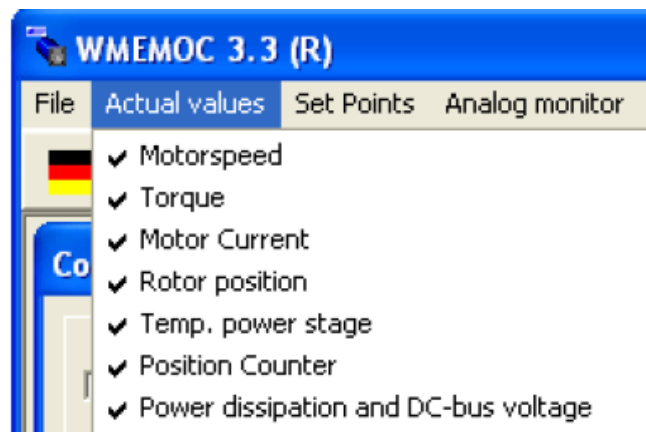
Uruchom program Wmemoc na komputerze PC (jeśli wystartujesz go wcześniej pojawi się komunikat błędu). Jeśli komunikacja działa to program Wmemoc uruchomi się z trzema otwartymi oknami – „Commands”, „Status” oraz „Actual Values”.



Rysunek 4: Okno aplikacji Wmemoc.

### Ustawianie opcji programu Wmemoc.

Wybierz z głównego menu pozycję „Actual Values”. Zaznacz wszystkie opcje, co spowoduje ich aktywację w oknie „Actual Values”.



Rysunek 5: Wybór wyświetlanych wielkości

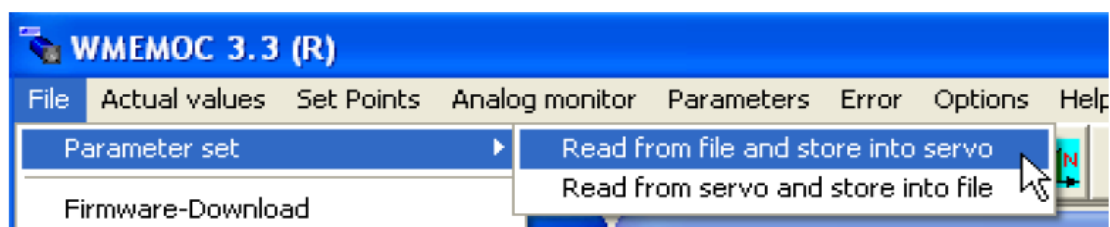
Wybierz Options > User Mode > Expert. W ten sposób będziesz miał dostęp do wszystkich funkcji programu Wmemoc.



Rysunek 6: Wybór trybu pracy.

### Wczytanie zestawu ustawień.

Wybierz Select File > Parameter Set > Read from file and store into servo.



Rysunek 7: Wczytanie zestawu ustawień.

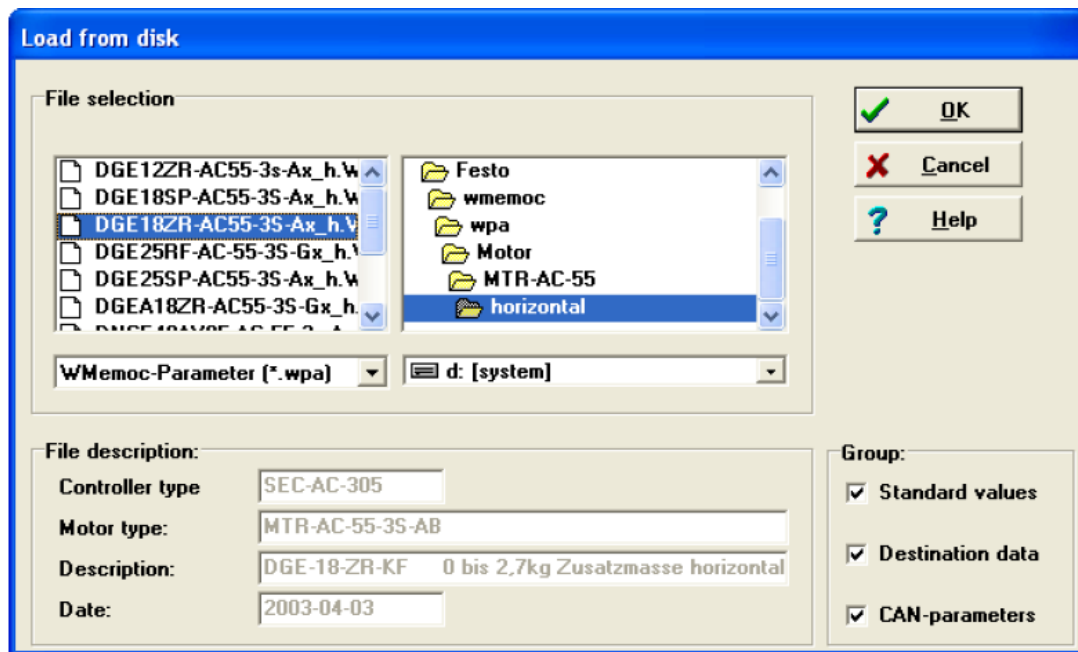
W oknie eksploratora znajdź odpowiedni zestaw parametrów. Powinieneś go znaleźć w katalogu

C:\Programme\Festo\wmemoc\wpa\Motor\MTR-AC- 55\horizontal

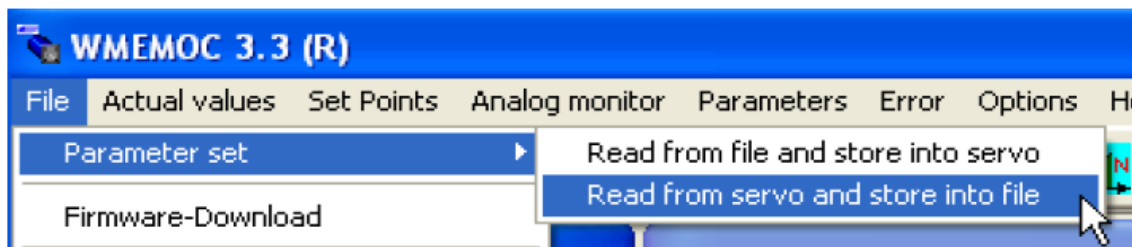
Wybierz zestaw parametrów odpowiedni dla silnika i modułu liniowego DGE, których używasz, upewniając się, że wybrałeś odpowiednią pozycję (poziomą – horizontal lub pionową - vertical)

Uwaga:

Wczytane parametry są automatycznie zapisywane w pamięci EEPROM, natomiast zmiany parametrów muszą zostać zapisane do EEPROM.



Rysunek 8: Wczytanie parametrów.



Rysunek 9: Odczyt parametrów z pamięci EEPROM.

Naciśnij OK i wczytaj zestaw parametrów. Pojawi się wskaźnik postępu wczytywania, które zajmie około 50s. Po zakończeniu ujrzysz komunikat „Data transferred”.

Uwaga:

Kontroler został właśnie zaopatrzone w kompletny zestaw predefiniowanych parametrów dla wszystkich kombinacji osie-serwonapędy firmy Festo (dla przypadku użycia poziomej i pionowej konfiguracji). Te predefiniowane parametry dają początkową, bezpieczną konfigurację sterownika.

Następnie pętle sterownika powinny zostać zoptymalizowane do konkretnej aplikacji.

### Zapisywanie zestawu parametrów

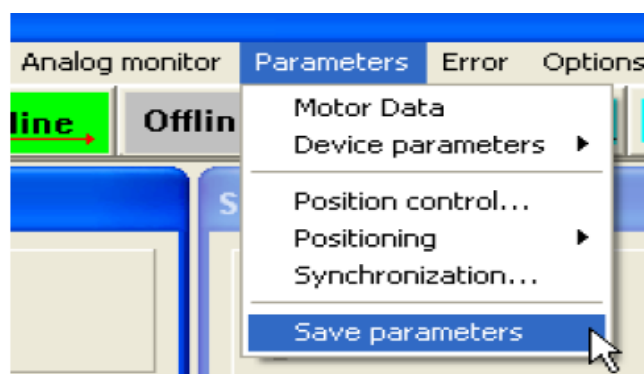
Są dwie możliwości zapisania zestawu parametrów:

Wybierz File > Parameter set > Read from servo and save into file.

W ten sposób zapiszesz parametry z pamięci EEPROM modułu SEC-AC do pliku komputera.

lub

Wybierz Parameters > Save parameters.



Rysunek 10: Zapis parametrów.

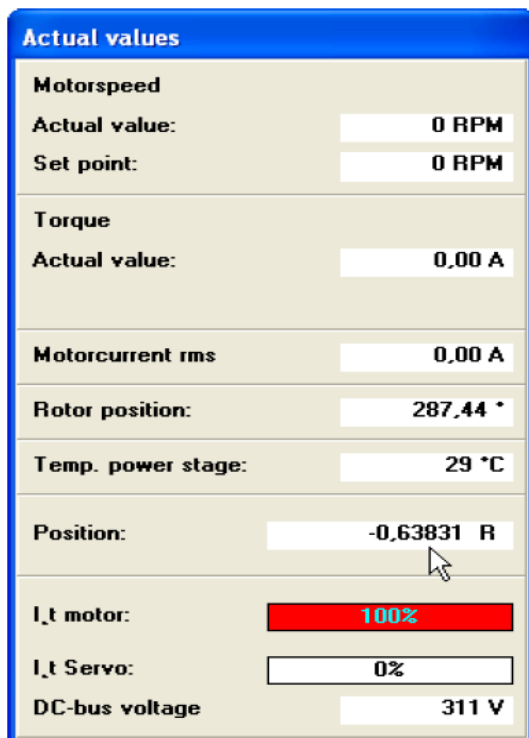
W ten sposób zapiszesz dane z pamięci ulotnej RAM modułu SEC-AC do jego pamięci stałej EEPROM.

Tylko w ten sposób zmiany parametrów pozostaną zapisane w przypadku awarii napięcia zasilania 24V.

### Ręczna kontrola sprzętu.

Sprawdź wartość w okienku „Position” poprzez poruszenie ręką suwaka w dowolnym kierunku, aż do osiągnięcia przełącznika krańcowego.

Sprawdź czy licznik pozycji w oknie „Actual Values” zlicza pozycję w górę i w dół.



Rysunek 11: Licznik pozycji.

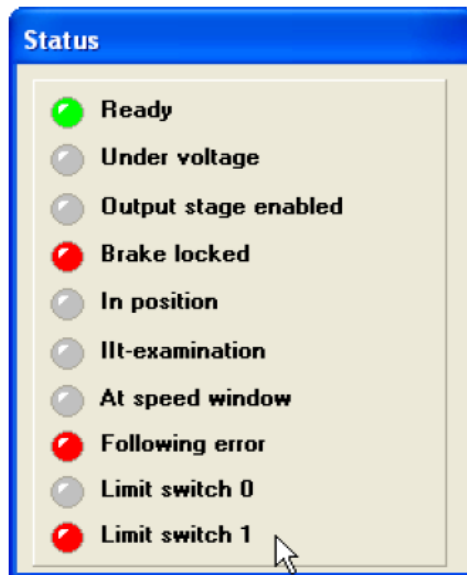
Sprawdź funkcjonowanie wyłączników krańcowych.

Jeśli licznik liczy w górę, kiedy osiągniesz wyłącznik krańcowy, w oknie „Status” powinna zaświecić się dioda obok tekstu „Limit switch 1”.

Sprzdź na poniższym rysunku.

Sprawdź to samo w przeciwnym kierunku – licznik powinien odliczać w dół, a w oknie „Status” powinna zaświecić się dioda obok tekstu „Limit switch 0”.





Rysunek 12: Okno statusu.

### Możliwe problemy

Problem	Sposób rozwiązania
Dioda wyłącznika krańcowego nie zapala się po osiągnięciu pozycji końcowej	<p>Sprawdź połączenia</p> <p>Sprawdź funkcjonowanie wyłącznika krańcowego</p> <p>Sprawdź logikę wyłącznika krańcowego</p> <p>Sprawdź czy na testerze przełączniki E0 i E1 są w dolnej pozycji</p>
Kierunek zliczania nie zgadza się z numeracją wyłącznika krańcowego (zlicz. w górę do wył.1, zlicz. w dół do wył.0)	<p>Fizycznie zamień wyłączniki krańcowe miejscami</p> <p>Kontrola bezpieczeństwa</p>

## Uaktywnienie systemu przy pomocy panelu sterowania.

Przełącz końcówkę mocy (Endst.) do pozycji ON (zapali się dioda)

Przełącz sterownik (Regler) do pozycji ON (zapali się dioda)

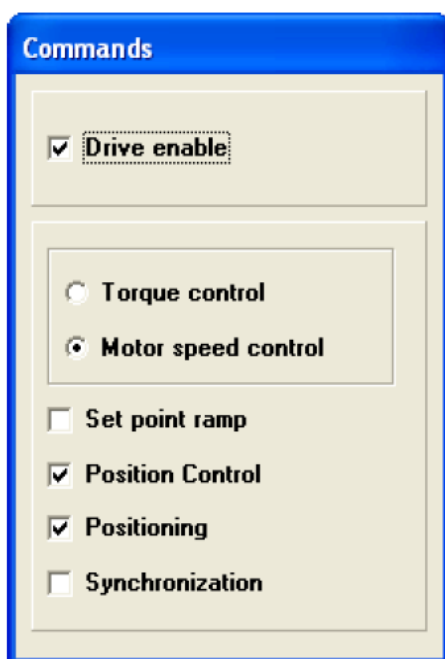
Na 7-segmentowym wyświetlaczu modułu SEC-AC wyświetla się litera „P” (= tryb pozycjonowania)

Zauważ, że suwak jest teraz zablokowany i nie może być przesuwany. Możesz teraz słyszeć hałas o wysokiej częstotliwości dochodzący z kontrolera.

### Sprawdzenie ustawień dla trybu pozycjonowania w oknie dialogowym „Commands”

Otwórz okno dialogowe „Commands” i upewnij się, że następujące ustawienia są aktywne ( )

- Drive enable
- Motor speed control
- Position control
- Positioning



Rysunek 13: Okno dialogowe „Commands”.

## Ruch referencyjny serwonapędu.

Do prawidłowej pracy serwonapęd potrzebuje tzw. pozycji odniesienia, względem której liczone są wszystkie inne położenia.

Pozycja odniesienia ustalana jest w ruchu referencyjnym po uruchomieniu a przed normalną pracą serwonapędu.

Naciśnij ikonę ruchu referencyjnego, aby otworzyć okno dialogowe.

**Reference position**

**Destination**  
max. turns permitted: 21,000000

**Speed**  
Search speed: 149,6106 RPM  
Crawl speed: 49,1259 RPM  
Running speed: 49,1259 RPM

**Acceleration**  
Total time: 100,04 ms  
Smoothing: 0,00 ms

**Deceleration**  
Total time: 100,04 ms  
Smoothing: 0,00 ms

**Start position**  
Position: 0,000000

**Direction:**  
 Turn left  
 Turn right

**Mode:**  
 Method 1  
 Method 2

**Start the reference run**  
 will be realised after power and regulator enable

OK  
Cancel  
Help  
GO!

Rysunek 15: Okno ruchu referencyjnego.

W oknie dialogowym ruchu referencyjnego sprawdź, że zaznaczona jest opcja „Method 1” w polu „Mode”. Trzymaj jedną rękę na wyłączniku urządzenia SEC-AC aby w każdej chwili móc go wyłączyć, gdyby wystąpił jakiś błąd.

- załącz Panel sterujący,
- załącz kontroler,
- uruchom ruch referencyjny, klikając w oknie dialogowym ruchu referencyjnego,

- przyciśnij przycisk „GO!”

Suwak poruszy się do punktu referencyjnego a następnie zatrzyma. Jeśli system jest zbyt głośny lub ruch jest nierównomierny wyłącz kontroler i zgłoś błąd prowadzącemu zajęcia.

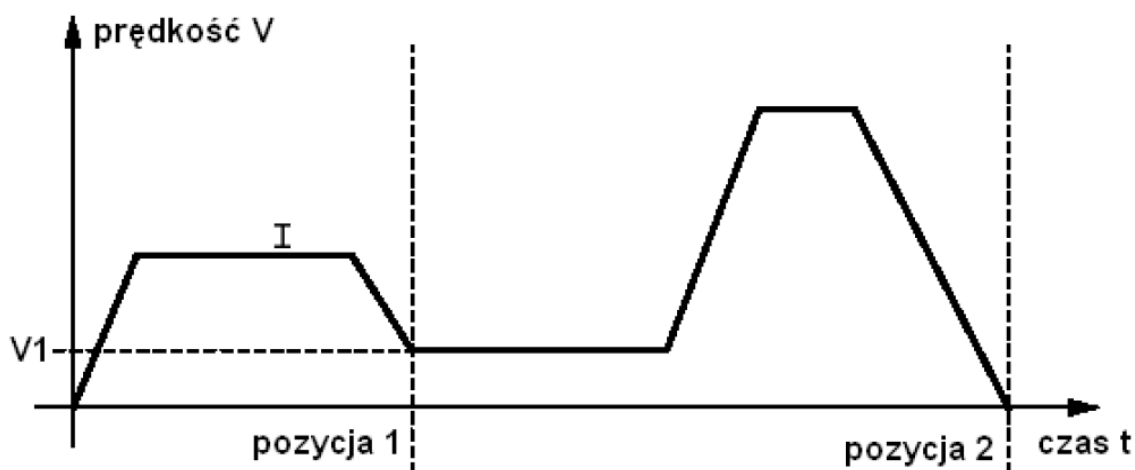
### Nastawianie pozycji, prędkości oraz nachyleń charakterystyk serwonapędu

W ćwiczeniu tym nauczysz się

Odczytać zestaw zdefiniowanych pozycji.

Wybierać pozycje używając okna dialogowego „Go to Destination” (Idź do celu).

Trzech sposobów poruszania pomiędzy poszczególnymi pozycjami.



Rysunek 16: Przykładowy przebieg ruchu napędu.

W polach okienek przyśpieszania („Acceleration”) oraz hamowania („Deceleration”) możesz sparametryzować nachylenia charakterystyk prędkości dla rozpędzania i hamowania napędu. Jeśli czasy w polu „Smoothing” zostaną ustawione na zero to nachylenia będą liniowe, w innym wypadku będą to funkcje paraboliczne.

## Sprawdzanie pozycji

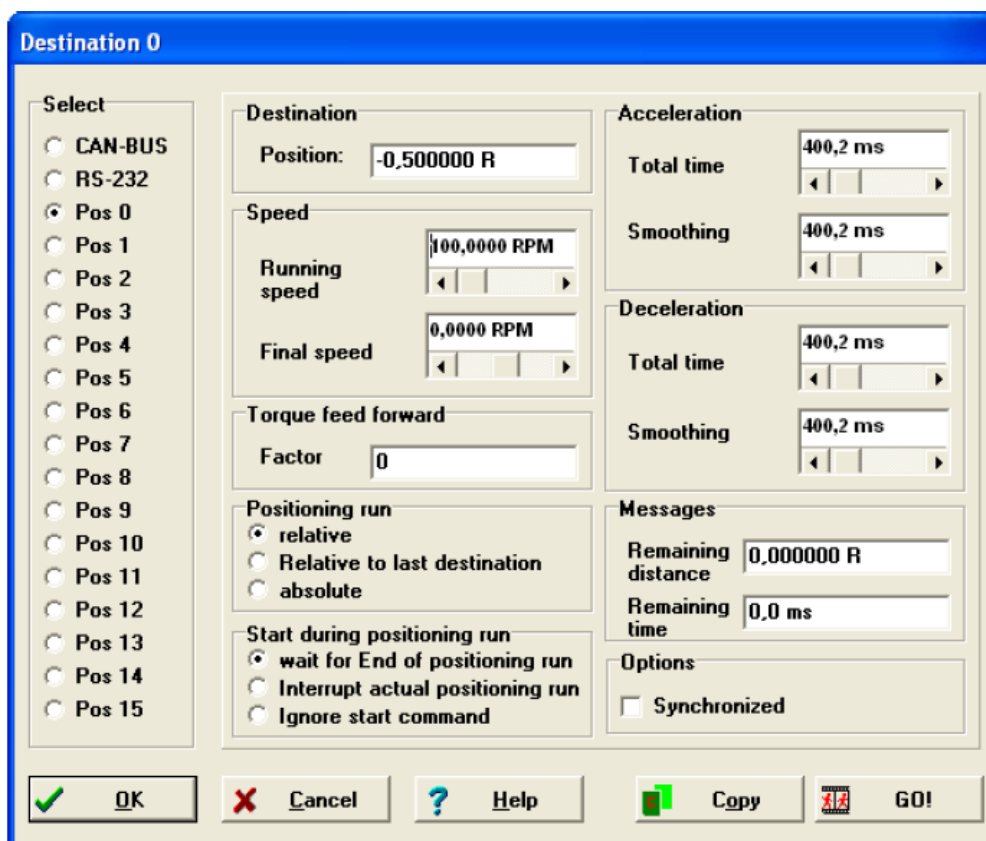
Uwaga: nie musisz wprowadzać pozycji – zestaw pozycji został wczytany jako część zbioru parametrów. W ćwiczeniach używasz predefiniowanych pozycji, prędkości i charakterystyk – niektóre z nich będziesz modyfikować.

Naciśnij ikonę celu „Destination”.



Rysunek 17: Ikona celu.

-Pojawi się okno dialogowe „Destination 0”.



Rysunek 18: Okno dialogowe pozycji.

Poniższa tabela przedstawia pozycje zdefiniowane w zestawie wczytanym do kontrolera

Nr pozycji	Pozycja (R)	Prędkość ruchu [obr/min]	Tryb pozycjonow ania*	Czas przyśpieszenia [ms]	Czas opóźnienia [ms]
0	-0,5	100	Abs	400	400
1	-4,3	200	Abs	100	100
2	-4,3	300	Abs	100	100
3	-4,3	400	Abs	100	100
4	-4,3	500	Abs	100	100
5	-1	200	Abs	400	400
6	-2	250	Abs	400	400
7	-3	300	Abs	400	400
8	-4	400	Abs	400	400
9	-4,3	500	Abs	400	400
10	-4,3	500	Abs	100	100
11	-0,5	300	Rel	400	400
12	0,5	300	Rel	400	400

SEC-AC wraz z innymi parametrami. Klikając na przyciski kolejnych pozycji możesz obejrzeć nastawy każdej z nich.

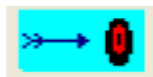
\*Zauważ, że tryb pozycjonowania („Positioning mode”) w aplikacji Wmemoc nosi nazwę „Positioning run”.



## Ruch do wybranej pozycji

Włącz kontroler (Regler).

Wybierz przycisk „Go to destination” na pasku narzędzi.



Rysunek 19: Ikona „Idź do celu”.

Naciskając kolejne przyciski w oknie dialogowym możesz przesuwac napęd do zadanych pozycji. (Jeśli rozpocznasz bezpośrednio po wykonaniu ruchu referencyjnego suwak powinien być w pozycji referencyjnej).



Rysunek 20: Okno „Idź do celu”.

Wybierz pozycje w kolejności przedstawionej w poniższej tabeli. Oznaczaj kolejne wykonane ruchy w kolumnie „Krok”, a w prawej kolumnie rób notatki ze swoich obserwacji ruchu suwaka.

Pytania kontrolne:

- Budowa silnika bezszczotkowego
- Zalety silnika bezszczotkowego
- Przykładowe charakterystyki mechaniczne i elektryczne silnika BLDC
- Schemat blokowy serwonapędu z silnikiem elektrycznym (z pętlami sprzężenia zwrotnego prędkościowego i położeniowego)