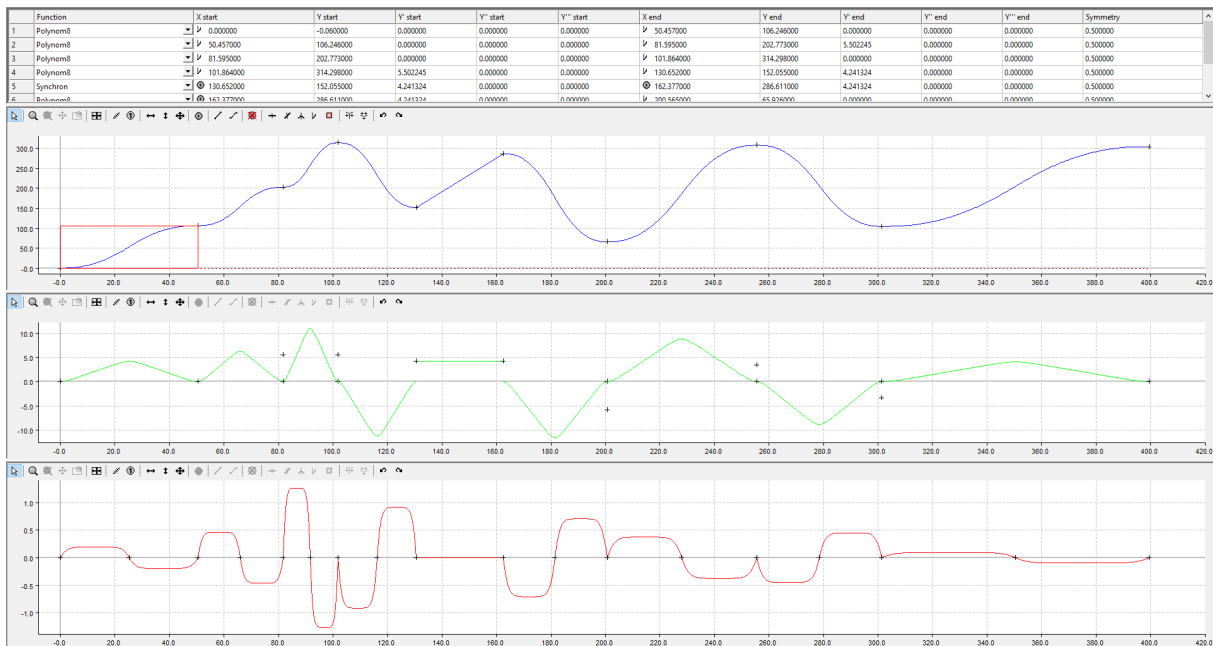


Zaawansowana synchronizacja osi – krzywki



Spis treści:

1. Opis sytuacji.....	3
2. Opis zadania	3
3. Schemat stanowiska.....	4
4. Opis aplikacji.....	6
5. Opis etapów.....	8
5.1. Etap I.....	8
Zazbrojenie wszystkich osi: X, Y oraz Y'	8
Synchronizacja liniowa silników Y i Y'	9
Ruch w funkcji Reversing Sequence	10
5.2. Etap II.....	11
Dodanie krzywki w kreatorze CAM Design Tool.....	11
Parametryzacja Mastera oraz Slave'a krzywki	12
Rysowanie krzywki	13
5.3. Etap III.....	14
Ustalenie punktu początkowego krzywki.....	14
Synchronizacja osi X(Y) w funkcji krzywki.....	15
Przejazd testowy	15
5.4. Etap IV	16
Wygładzanie trajektorii ruchu	16
Dostosowanie krzywki do aplikacji.....	17
6. System oceniania.....	18

1. Opis sytuacji

W wielu aplikacjach wymagana jest synchronizacja dwóch lub większej ilości osi. W tych bardziej zaawansowanych, często trzeba zastosować złożone funkcje ruchu, które ciężko opisać w prosty sposób.

Jednym z rozwiązań jest wykorzystanie tzw. krzywki software'owej. Jest to tabela punktów opisująca zależność pomiędzy dwiema osiami, gdzie przebieg pomiędzy punktami jest opisany funkcjami matematycznymi.

W przeszłości do tych celów wykorzystywano krzywki mechaniczne, które bazując na odpowiedniej geometrii, pozwalały na uzyskiwanie pożądanych pozycji przez połączoną oś. Taką krzywkę można w prosty sposób zaprojektować wykorzystując funkcjonalność CAM Design Tool z modułu MOTION TwinCAT'a. Dzięki temu uzyskujemy dużą elastyczność oraz niezawodność sprzężonych osi.

2. Opis zadania

W celu zobrazowania trajektorii ruchu krzywek, zadanie zostanie wykonywane na stole XY, gdzie oś Y będzie symulować cyklicznie poruszające się ramię.

Celem zadania jest sprzężenie wszystkich osi, aby przy jednostajnym ruchu silnikiem w kierunku Y, oś X pokonała przeszkody ustawione na płaszczyźnie. Synchronizacja osi X(Y) odbywać się będzie przy użyciu krzywek wygenerowanych w oprogramowaniu CAM Design Tool.

Całe zadanie podzielone jest na 4 etapy, gdzie każdy etap jest punktowany 0-1.

Etap 1:

- ➔ Zazbrojenie osi X, Y, Y'
- ➔ Synchronizacja liniowa Y oraz Y'
- ➔ Ruch w funkcji Reversing Sequence

Etap 2:

- ➔ Stworzenie krzywki w kreatorze CAM Design Tool
- ➔ Parametryzacja Mastera oraz Slave'a w krzywce
- ➔ Rysowanie prostej krzywki

Etap 3:

- ➔ Parametryzacja punktów początkowych
- ➔ Synchronizacja osi X(Y) w funkcji krzywki
- ➔ Testowy przejazd Reversing Sequence

Etap 4:

- ➔ Edycja krzywki w kreatorze CAM Design Tool w celu uzyskania trajektorii, która pozwala na ominięcie wszystkich przeszkód w obszarze.
- ➔ Optymalizacja krzywizny w celu zmniejszenia wartości prędkości i przyspieszeń.

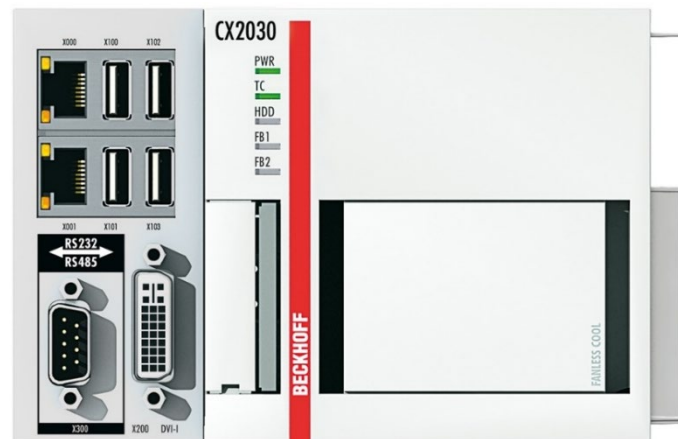
3. Schemat stanowiska

Na stanowisku znajdują się:

➔ Sterownik CX2030

Sterownik posiada klasę wydajności 60. Taki sterownik pozwala korzystanie ze złożonych obliczeń stosowanych w zaawansowanych aplikacjach, np. CNC lub krzywki.

<https://www.beckhoff.com/pl-pl/products/ipc/embedded-pcs/cx20x0-intel-celeron-core-i7/cx2030.html>

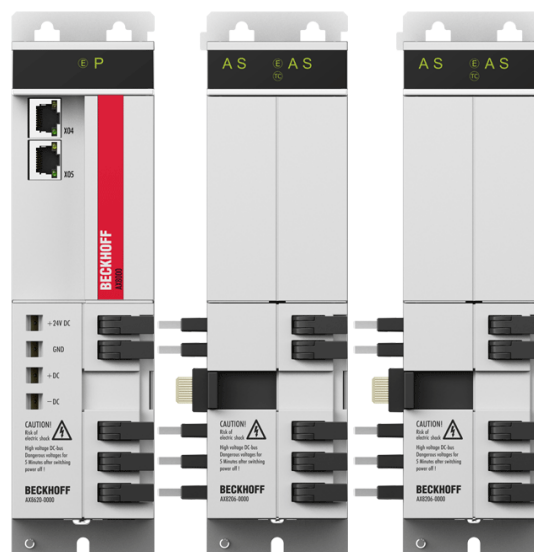


➔ Sterowniki serwo AX8000

Wielokanałowy sterownik silników serwo do realizowania wieloosiowych aplikacji. Jedno lub dwukanałowe sterowniki są połączone z jednym, centralnym modułem zasilania. W tej aplikacji odpowiadają one za sterowanie silnikami liniowymi (X, Y, Y').

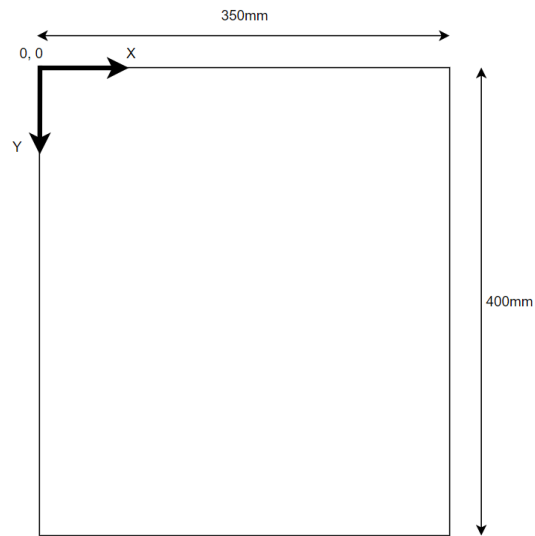
<https://www.beckhoff.com/pl-pl/products/motion/servo-drives/ax8000-multi-axis-servo-system/ax8620.html>

<https://www.beckhoff.com/pl-pl/products/motion/servo-drives/ax8000-multi-axis-servo-system/ax8206-0210-0000.html>



ROBOCHALLENGE

→ Układ XYZ wykorzystujący silniki liniowe oraz siłownik liniowy o polu roboczym 350x400mm



- Oś X: Jeden silnik liniowy X
- Oś Y: Układ gantry na dwóch silnikach liniowych Y, Y'
- Oś Z: Siłownik elektryczny Z

W tym zadaniu, oś Z nie będzie wykorzystywana.

4. Opis aplikacji

Komputer przemysłowy CX2030 oraz silniki zostały już wcześniej skonfigurowane. Istotne elementy, które zostały ustawione na stanowisku to:

- ➔ **Krańcówki software'owe** – pozwalają ograniczyć ruch silnika poza wcześniej wytyczony obszar. Ograniczają ryzyko wyjazdu poza dostępny obszar roboczy.
- ➔ **Offset enkodera** – wartość, która jest dodawana do obecnej pozycji silnika. Pozwala to na wyzerowanie wartości na początku układu współrzędnych
- ➔ **Skalowanie osi** – pozwala poruszać się osiami w jednostkach aplikacyjnych, tutaj w milimetrach.

W ćwiczeniu wykorzystywane będą funkcjonalności modułu MOTION w oprogramowaniu TwinCAT 3. W celu lepszego zrozumienia oraz dla ułatwienia poruszania się po środowisku, warto zapoznać się z dokumentacją dotyczącą obsługi kart:

➔ Online

Karta pozwala na odczytywanie aktualnych statusów osi, takich jak pozycja aktualna, pozycja zadana czy gotowość na ruch. Dodatkowo umożliwia jej zazbrojenie jak i poruszanie się funkcjami JOG.

Przydatną funkcją jest możliwość resetowania osi, jeżeli wpadły w błąd. Kod błędu jest widoczny pod okienkiem Error. Reset jest wykonywany przyciskiem **F8**

https://infosys.beckhoff.com/content/1033/tf50x0_tc3_nc_ptp/10663193867.html

General	Settings	Parameter	Dynamics	Online	Functions	Coupling	Compensation								
				0.0000		Setpoint Position: [mm]	0.0000								
Lag Distance (min/max): [mm]		Actual Velocity: [mm/s]		Setpoint Velocity: [mm/s]		0.0000									
0.0000 (0.000, 0.000)		0.0000		0.0000		0.0000									
Override: [%]		Total / Control Output: [%]		Error:											
0.0000 %		0.00 / 0.00 %		0 (0x0)											
Status (log.)		Status (phys.)		Enabling											
<input checked="" type="checkbox"/> Ready		<input checked="" type="checkbox"/> NOT Moving		<input type="checkbox"/> Controller <input type="button" value="Set"/>											
<input type="checkbox"/> Calibrated		<input type="checkbox"/> Moving Fw		<input type="checkbox"/> Feed Fw											
<input type="checkbox"/> Has Job		<input type="checkbox"/> Moving Bw		<input type="checkbox"/> Feed Bw											
		<input type="checkbox"/> Coupled Mode													
		<input type="checkbox"/> In Target Pos.													
		<input type="checkbox"/> In Pos. Range													
Controller Kv-Factor: [mm/s/mm]		Reference Velocity: [mm/s]													
1		2200													
Target Position: [mm]		Target Velocity: [mm/s]													
0		0													
F1		F2		F3		F4		F5		F6		F8		F9	

→ Functions

W tej karcie możliwe jest definiowanie prostych jak i złożonych funkcji ruchu, np. Start/Stop Sequence czy Reversing Sequence. W zadaniu będzie konieczność wykonania jednego z takich ruchów.

https://infosys.beckhoff.com/content/1033/tf50x0_tc3_nc_ptp/10663195787.html

General	Settings	Parameter	Dynamics	Online	Functions	Coupling	Compensation
		0.0000		Setpoint Position: [mm]		0.0000	
Extended Start							
Start Mode:	Absolute		Start				
Target Position:	0	[mm]	Stop				
Target Velocity:	0	[mm/s]					
<input type="checkbox"/> Acceleration:	0	[mm/s ²]					
<input type="checkbox"/> Deceleration:	0	[mm/s ²]	Last Time: [s]				
<input type="checkbox"/> Jerk:	0	[mm/s ³]	0.00000				
Raw Drive Output							
Output Mode:	Percent		Start				
Output Value:	0	[%]	Stop				
Set Actual Position							
Absolute		0	Set				
Set Target Position							
Absolute		0	Set				

→ Coupling

Karta odpowiada za synchronizację. Pozwala definiować osie nadrzędne oraz wykorzystywać do tego różne funkcje synchronizacji. Ta karta będzie używana w momencie sprzęgnięcia ze sobą kilku osi.

https://infosys.beckhoff.com/content/1033/tf50x0_tc3_nc_ptp/10663197707.html

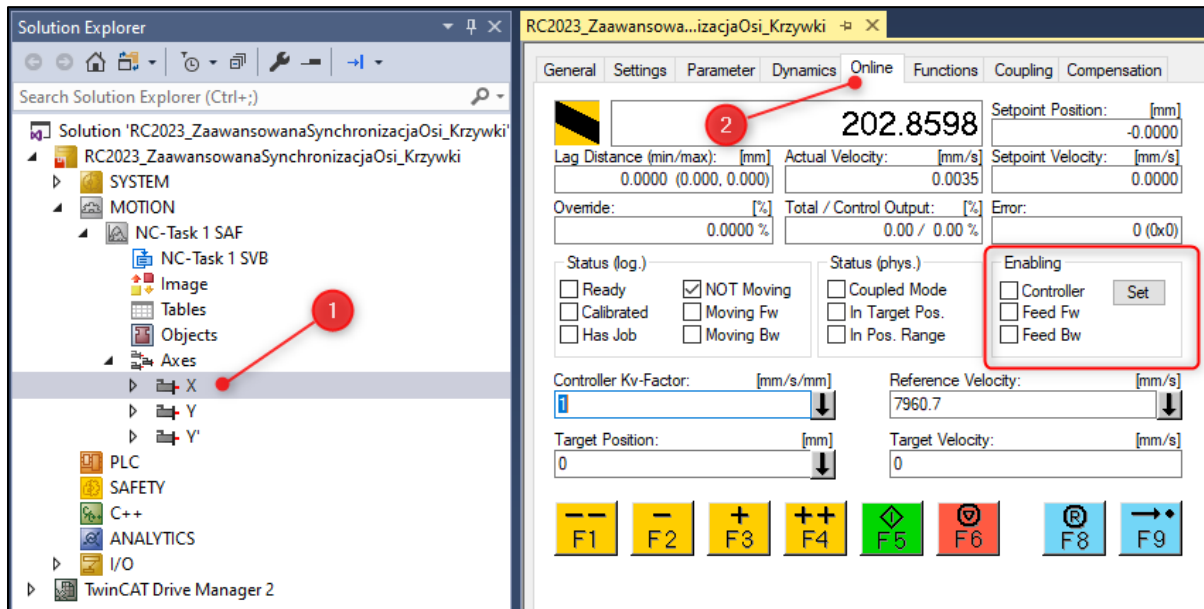
General	Settings	Parameter	Dynamics	Online	Functions	Coupling	Compensation
		0.0000		Setpoint Pos.: [m]		0.0000	
Master/Slave Coupling							
Master Axis:			Couple				
Coupling Mode:	Linear		Decouple				
Coupling Factor:	1		Change Factor				
Parameter 2:	0		Stop				
Parameter 3:	0						
Parameter 4:	0						
Table Id:	0						
Interpolation Type:	Linear						
Slave Offset:	0		<input checked="" type="checkbox"/> Absolute				
Master Offset:	0		<input checked="" type="checkbox"/> Absolute				

5. Opis etapów

5.1. Etap I

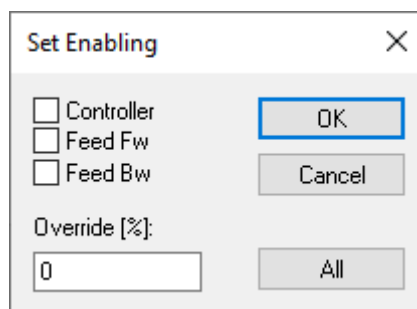
Zazbrojenie wszystkich osi: X, Y oraz Y'

➔ Każdą oś można aktywować w karcie Online.



➔ Grupa **Enabling** pozwala na aktywację kontrolera. Po kliknięciu przycisku **Set** mamy do dyspozycji aktywację:

- Controller – uruchomienia sterownika
- Feed Fw – możliwość poruszania się w przód
- Feed Bw – możliwość poruszania się w tył
- Override – skalowanie prędkości



W tym etapie należy zazbroić wszystkie osie zaznaczając checkboxy oraz w override wpisać 100%. Można zrobić to ręcznie, lub klikając przycisk **All**, który robi to automatycznie.

Synchronizacja liniowa silników Y i Y'

- Synchronizację ustawiamy w karcie Coupling. Do poprawnej synchronizacji należy wypełnić parametry zaznaczone na zdjęciu poniżej.

General Settings Parameter Dynamics Online Functions Coupling Compensation

191.7572

Setpoint Position: [mm]
0.0000

Master/Slave Coupling

Master Axis: [v]
Coupling Mode: Linear [v]
Coupling Factor: 1

Parameter 2: 0
Parameter 3: 0
Parameter 4: 0

Table Id: 0
Interpolation Type: Linear [v]
Slave Offset: 0 [x] Absolute
Master Offset: 0 [x] Absolute

Couple
Decouple
Change Factor
Stop

- Należy dokonać synchronizacji liniowej osi, gdzie osią master jest oś Y, a osią slave Y'. Skalowanie powinno wynosić 1:1. Po uzupełnieniu parametrów, należy zatwierdzić to przyciskiem **Couple**.
- W przypadku poprawnego sprzężenia osi, zakładka Online osi Slave powinna być wyszarzona oraz Setpoint powinien świecić się na czerwono. Oznacza to, że nie można sterować osią w sposób bezpośredni, a tylko poprzez oś Master.

General Settings Parameter Dynamics Online Functions Coupling Compensation

191.7569

Setpoint Position: [mm]
0.0000

Setpoint Velocity: [mm/s]
0.0000

Lag Distance (min/max): [mm] (0.000, 0.000)
Actual Velocity: [mm/s] -0.000

Override: [%] 0.0000 %
Total / Control Output [%] 0.00 0.00 %
Error: 0 (0x0)

Status (log.)
 Ready
 Calibrated
 Has Job
 NOT Moving
 Moving Fw
 Moving Bw

Status (phys.)
 Coupled Mode
 In Target Pos.
 In Pos. Range

Enabling
 Controller
 Feed Fw
 Feed Bw
Set

Controller Kv-Factor: [mm/s/mm] [v]
Reference Velocity: [mm/s] 7960.7 [v]
Target Position: [mm] 0 [v]
Target Velocity: [mm/s] 0 [v]

F1 F2 F3 F4 F5 F6 F8 F9

Ruch w funkcji Reversing Sequence

- Proste funkcje ruchu można wykonywać w karcie Functions. Należy wykonać ruch **Reversing Sequence** po granicznych wartościach pola roboczego na osiach X oraz Y z prędkością **25mm/s**.

The screenshot shows the 'Functions' tab in the Beckhoff control interface. The 'Extended Start' section is highlighted with a red box. It contains the following fields and controls:

- Start Mode: Reversing Sequence (dropdown menu)
- Start: Start button
- Stop: Stop button
- Target Position1: 0 [mm]
- Target Velocity: 0 [mm/s]
- Target Position2: 0 [mm]
- Idle Time: 0 s
- Last Time: 0.00000 [s]

Other sections visible in the interface include:

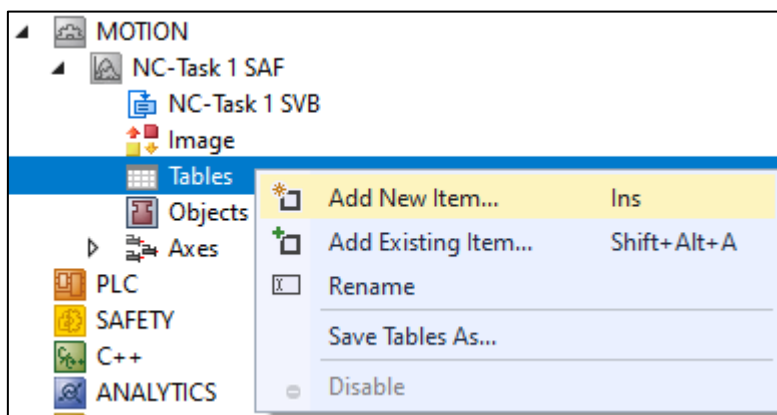
- Raw Drive Output: Output Mode (Percent), Output Value (0 [%]), Start/Stop buttons
- Set Actual Position: Absolute (dropdown), 0, Set button
- Set Target Position: Absolute (dropdown), 0, Set button

- Rozpoczęcie oraz zakończenie działania funkcji określamy przyciskami Start/Stop. Po uruchomieniu funkcji, osie fizyczne powinny zacząć wykonywać ruch.

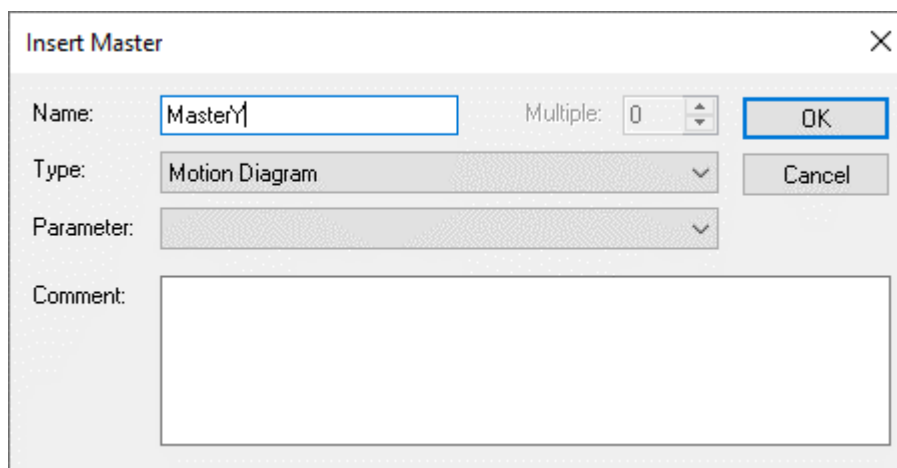
5.2. Etap II

Dodanie krzywki w kreatorze CAM Design Tool

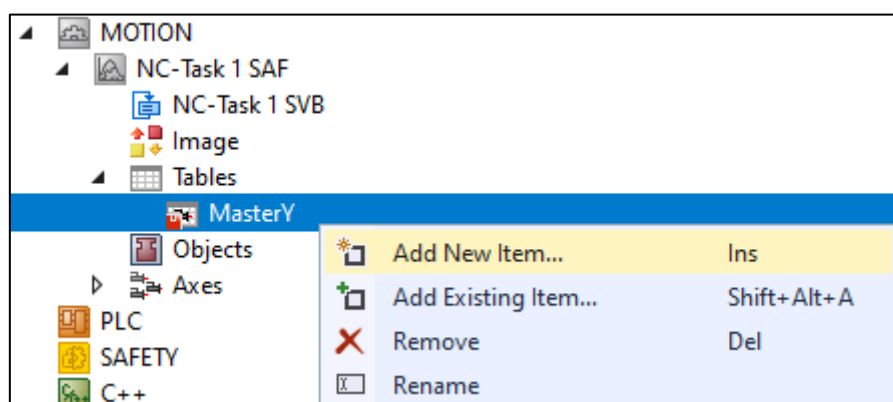
➔ Do utworzenia mastera krzywki, należy dodać nową tablicę w module Motion.



➔ Wybrać **MotionDiagram**, nadać dowolną nazwę i zatwierdzić przyciskiem **OK**.



➔ Następnie należy dodać tablicę ruchu, która będzie definiowała ruch Slave'a, bazując na osi Master. Tablicę dodajemy klikając PPM na dodanego wcześniej mastera, a następnie nazwać i zatwierdzić przyciskiem OK.



Parametryzacja Mastera oraz Slave'a krzywki

→ Parametryzacja Mastera krzywki:

- Wartości graniczne pola roboczego osi Y – **Minimum, Maximum** – zgodnie z polem roboczym (0 – 400mm)
- Przypisanie fizycznej osi – **Assigned Axis** – gdzie definiujemy oś master
- Zdefiniowanie, czy ruch osi master jest cykliczny – **Periodic**. Jest to istotny parametr w momencie aplikacji obrotowych. W tym przypadku on nie występuje.

General Master

Name: Assigned Axis:

Minimum: Maximum:

Mode: Periodic Velocity Normed 1/sec

Table / Function: Position Table Motion Function Increment:

Rounding Value:

→ Parametryzacja Slave'a krzywki:

- Przypisanie fizycznej osi – **Assigned Axis** – gdzie definiujemy oś slave
- Wartości graniczne pola roboczego osi Y – **Minimum, Maximum** – zgodnie z polem roboczym (0 – 350mm)

General Master SlaveX

Name: Table Id:

Assigned Axis:

	Position	Velocity	Acceleration	Jerk
Maximum	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="7237"/>	<input type="text" value="10855.5"/>	<input type="text" value="32566.5"/>
Minimum	<input type="text" value="-10"/>	<input type="text" value="-7237"/>	<input type="text" value="-10855.5"/>	<input type="text" value="-32566.5"/>

Rounding Value:

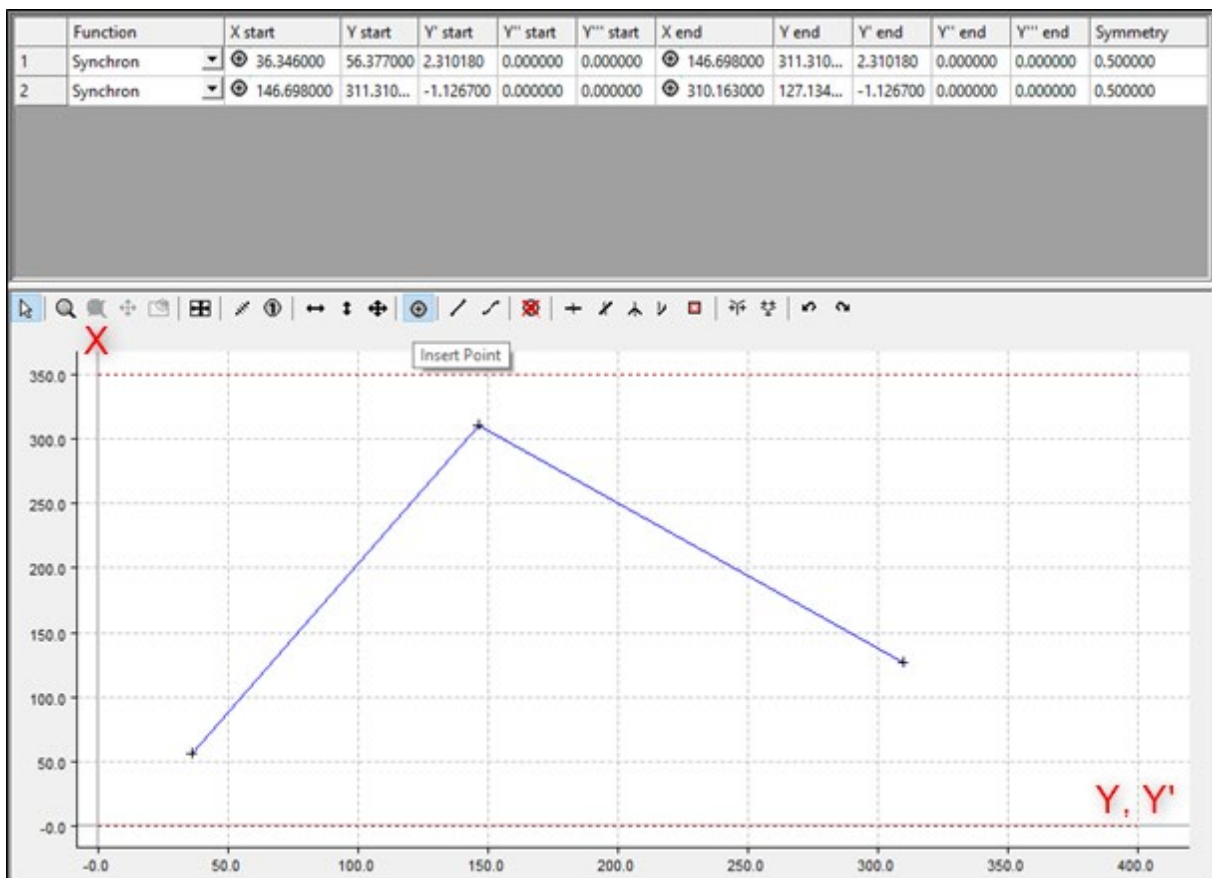
Rysowanie krzywki

➔ Rysowanie krzywki odbywa się poprzez dodawanie kolejnych punktów na układzie współrzędnych wykorzystując narzędzie **Insert Point**. W górnej tabeli pojawiają się współrzędne poszczególnych odcinków odpowiadających za poruszanie się.

Jeżeli parametryzacja przebiegła w prawidłowy sposób, to zakresy na krzywce powinny odpowiadać polu roboczemu.

Tablicę krzywki należy rozumieć w taki sposób, że:

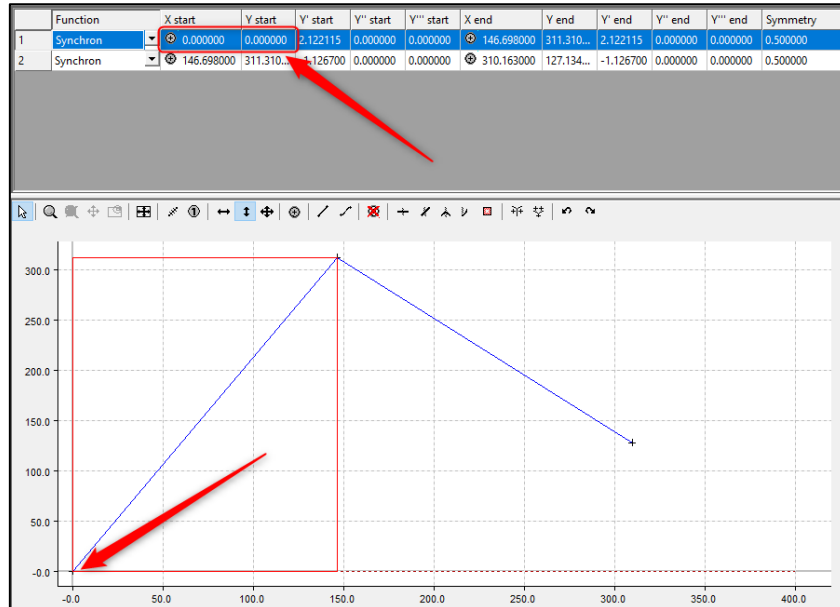
- Oś X: Master – odnosi się do fizycznej osi Y, Y'
- Oś Y: Slave – odnosi się do fizycznej osi X



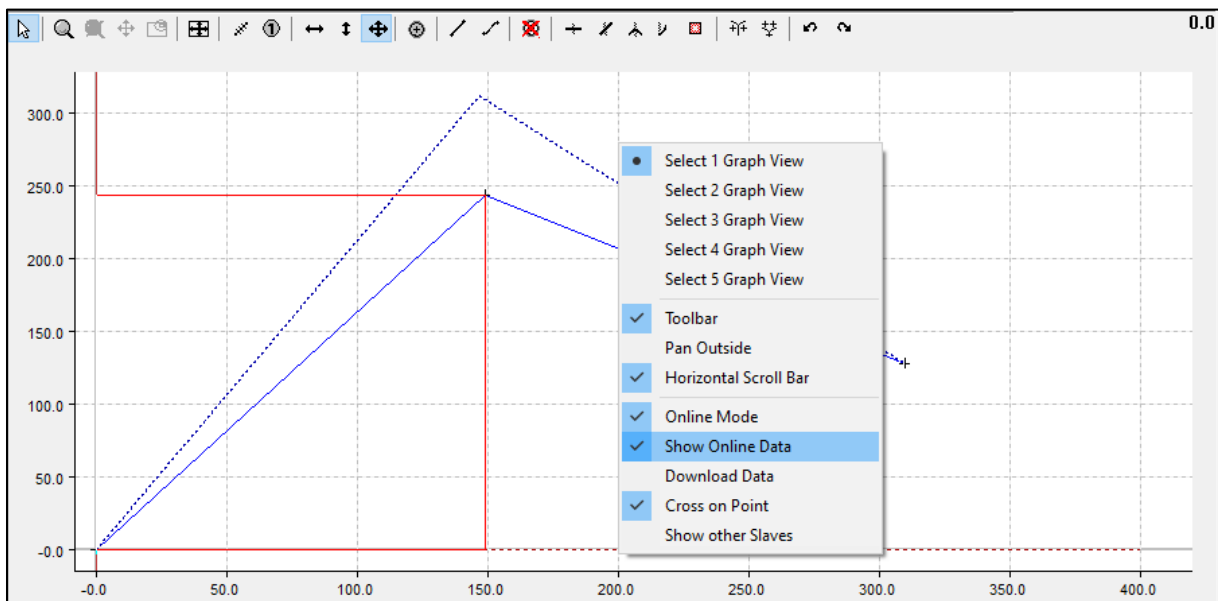
5.3. Etap III

Ustalenie punktu początkowego krzywki

- ➔ Ustawienie punktu początkowego krzywki w miejscu początku układu współrzędnych, czyli punkt (0, 0).



- ➔ Aby taką krzywkę wgrać do konfiguracji sterownika, należy w karcie w konfiguracji parametrów krzywki kliknąć przycisk **Download**.
- ➔ Porównanie wartości Online (krzywki na sterowniku) z wartością skonfigurowaną Offline w kreatorze możemy zobaczyć klikając PPM na układzie współrzędnych i wybierając **Show Online Data**.
 - Linia ciągła – wartości offline
 - Linia punktowa – wartości online



Synchronizacja osi X(Y) w funkcji krzywki

- Aby można było dokonać synchronizacji osi, w pierwszej kolejności należy przejechać do punktu, w którym znane jest wzajemne położenie osi. Takim punktem jest zadeklarowany wcześniej punkt (0, 0).

Wykorzystując funkcję ruchu **Absolute** należy przejechać do punktu początkowego całego układu.

The screenshot shows the 'Coupling' tab in the Beckhoff control software. The main display shows a position of 0.0000 mm. The 'Extended Start' section is active, with 'Start Mode' set to 'Absolute'. Parameters for Target Position (0 mm), Target Velocity (0 mm/s), Acceleration (0 mm/s²), Deceleration (0 mm/s²), and Jerk (0 mm/s³) are visible. The 'Raw Drive Output' section is also visible, with 'Output Mode' set to 'Percent'. The 'Set Actual Position' and 'Set Target Position' sections are both set to 'Absolute' and '0'.

- Synchronizacja osi na podstawie krzywek, podobnie jak synchronizacja liniowa odbywa się w karcie Coupling. W tym przypadku, należy dokonać couplingu osi skupiając wykorzystując opcję **Cam Profile (Uniwersal)**. Podczas parametryzacji należy zwrócić uwagę na parametry:
- Master Axis
 - Master Scaling
 - Slave Scaling 1:1
 - Table Id

Po odpowiedniej parametryzacji należy zatwierdzić przyciskiem Couple.

Przejazd testowy

- Na osi master, czyli fizyczna oś Y, należy uruchomić funkcję **Reversing Sequence** w taki sam sposób jak w etapie I. Przejazd powinien odbywać się po całym zakresie pola roboczego. Dla pierwszego przejazdu najlepiej ustawić niską prędkość, np. **20mm/s**.
- Jeżeli po uruchomieniu funkcji Reversing Sequence oś wchodzi w błąd, należy ją zresetować oraz zmienić trajektorię krzywki. Może wystąpić sytuacja, że trajektoria ruchu jest bardzo ostra, co powoduje rozsynchronizowanie osi.

5.4. Etap IV

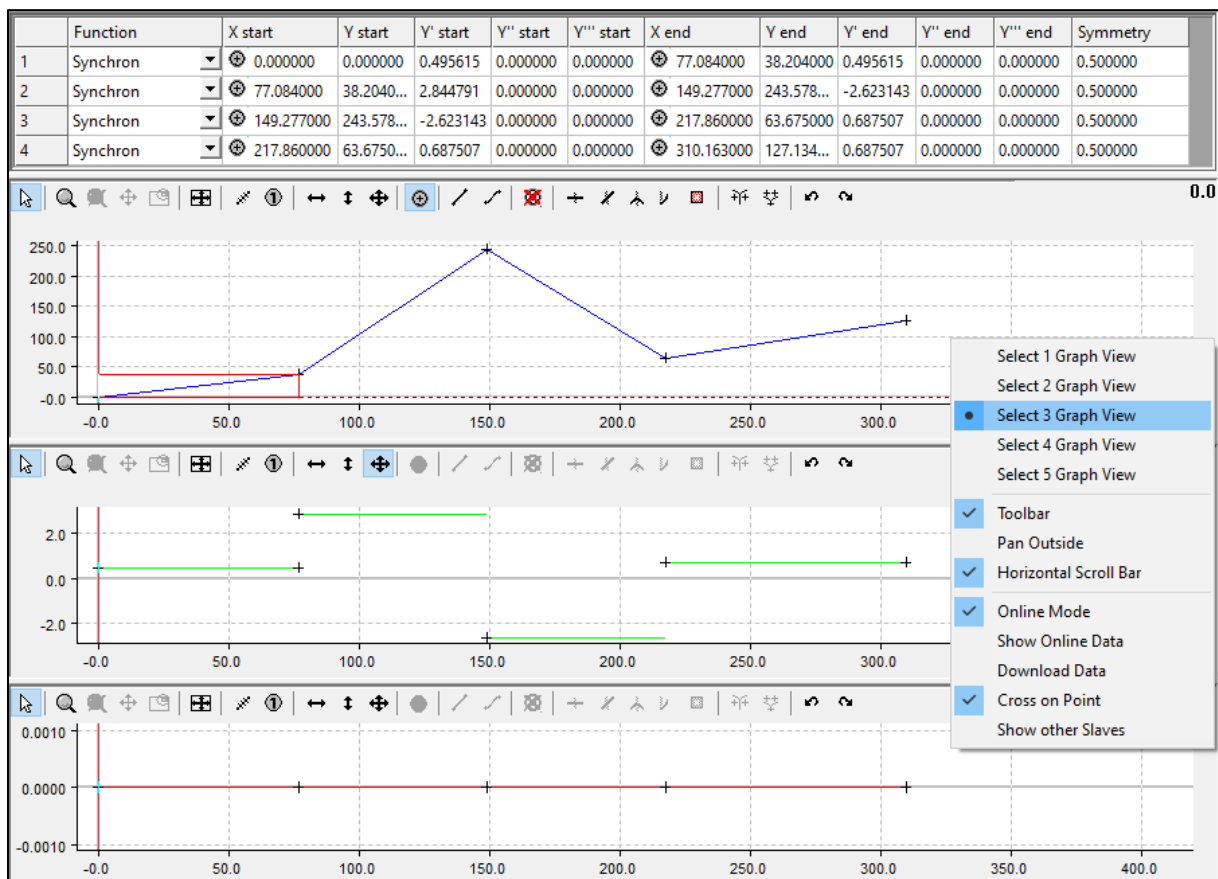
Wygładzanie trajektorii ruchu

➔ Dla zadanych obiektów, które domyślnie tworzone są po dodaniu krzywki, występuje sytuacja, w której dochodzi do skokowej zmiany prędkości. Wykresy pochodnych położenia, czyli prędkość i przyspieszenie możemy wyświetlić klikając PPM na układ współrzędnych i wybierając **Select 3 Graph View**:

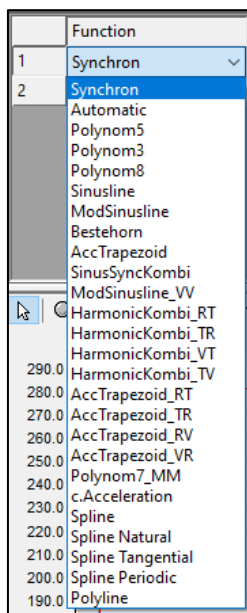
- Niebieski – położenie
- Zielony – prędkość
- Czerwony – przyspieszenie

W sytuacji widocznej na poniższym wykresie możemy zauważyć, że wartości prędkości zmieniają się w sposób skokowy, co fizycznie jest nie do osiągnięcia dla układów napędowych.

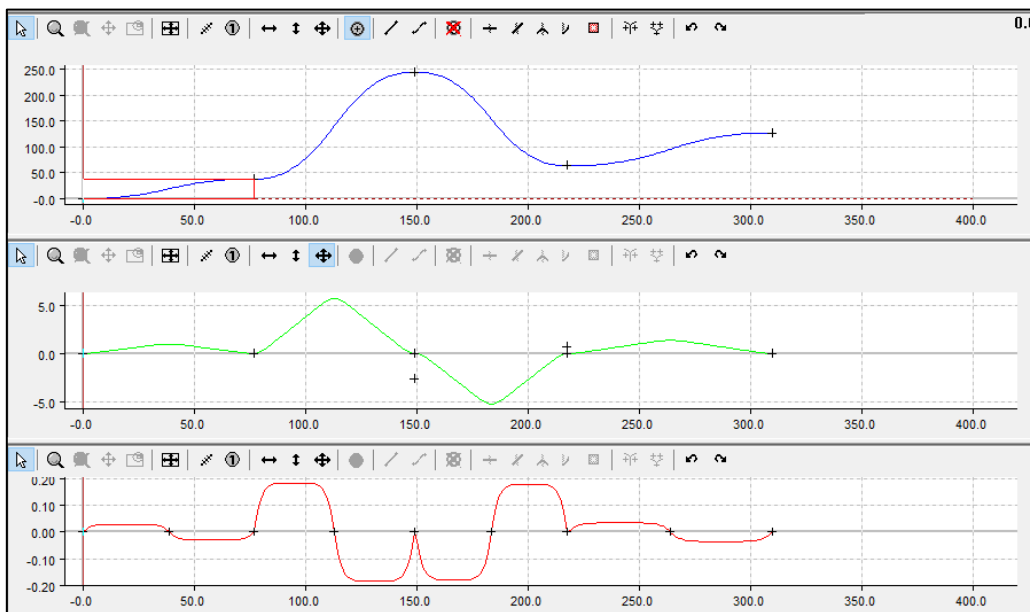
W przypadku niskich prędkości i gładkiej trajektorii, układ może nie przekroczyć wartości granicznej uchybu, jaki będzie pojawiać się w momencie zmiany prędkości i pozwoli przejechać całą trasę bez żadnych błędów. Nie jest to jednak pożądany efekt, ponieważ wysoka dynamika powoduje uszkodzenia układów mechanicznych drastycznie zmniejszając ich żywotność.



- ➔ W celu wygładzenia trajektorii należy zmienić domyślną funkcję, z jaką jest generowana ścieżka od punktu do punktu. Celem zadania jest wybór odpowiednich funkcji, które pozwolą uzyskać prędkości i przyspieszenia bez gwałtownych skoków.



- ➔ Wygładzenie trajektorii ruchu powoduje zmiany w dynamice jak na zdjęciu poniżej.



Dostosowanie krzywki do aplikacji

- ➔ Na obszarze roboczym zostanie wytyczona odpowiednia ścieżka, którą ma się poruszać oś X w celu ominięcia wszystkich przeszkód.
- ➔ Należy wykreślić trajektorię ruchu, która spełnia następujące warunki:
 - Oś X potrafi ominąć wszystkie przeszkody na obszarze roboczym
 - Oś Y działa w funkcji Reversing Sequence z prędkością 50mm/s
 - Brak wyraźnych szarpnięć (gładka dynamika) podczas wykonywania ruchu

6. System oceniania

1. Osiągnięcie celu zadania – 1 pkt

Celem zadania jest zastosowanie zaawansowanej synchronizacji osi wykorzystując krzywkę w taki sposób, aby oś X w płynny oraz bezkolizyjny sposób pokonała wszystkie przeszkody widoczne na stole.

2. Zaliczenia etapów – łącznie 4 pkt

- Etap I (1 pkt)
- Etap II (1 pkt)
- Etap III (1 pkt)
- Etap IV (1 pkt)

3. Czas wykonania po zapoznaniu się z instrukcją – maksymalnie 3 pkt

- Ukończenie zadania poniżej 30 min (3 pkt)
- Ukończenie zadania poniżej 35 min (2 pkt)
- Ukończenie zadania poniżej 40 min (1 pkt)

Komentarz: w trakcie wykonywania zadania, drużyna może poprosić o pomoc w wykonaniu danego punktu opiekuna stanowiska. Nie przysługuje jej wówczas punkt za wykonanie danego etapu.

Warunkiem udzielenia pomocy, jest stosowna ilość czasu na jej udzielenie.