

MANIPULATOR KARTEZJAŃSKI Z NAPĘDAMI LINIOWYMI

W artykule opisano konstrukcję manipulatora kartezjańskiego do napędu, którego zastosowano silniki liniowe. Zastosowanie nowoczesnych napędów umożliwiło redukcję masy ruchomych elementów manipulatora przy zachowaniu pełnej funkcjonalności oraz parametrów dokładnościowych manipulatora. Artykuł ukazuje możliwości zastosowania nowoczesnych napędów liniowych w konstrukcjach urządzeń do automatyzacji procesów wytwórczych.

CARTESIAN MANIPULATOR WITH LINEAR ACTUATORS

In the paper a construction of cartesian manipulator with a linear actuators is presented. Modern design of the linear actuator allows achieving the mass reduction of moving elements with the same or better accuracy and repeatability as with conventional actuator. The paper focuses on practical application of modern drives in industrial automation.

1. KONSTRUKCJA MECHANICZNA MANIPULATORA

1.1. Wstęp

Opisywany manipulator przeznaczony jest do segregowania i paletyzowania plastikowych tacek, w których przechowywane są końcówki pipet automatycznych. Postawione przed konstruktorem zadanie projektowe miało na celu opracowanie konstrukcji manipulatora, który zintegrowany z pozostałymi elementami automatycznego ciągu produkcyjnego zapewniać powinien :

- odbiór pełnych tacek z palety i układanie ich w stosy,
- układanie na palecie pustych tacek,
- umożliwienie wykonywania w przyszłości dodatkowych zadań takich jak: zakładanie pudełek ochronnych czy dodatkowa manipulacja tackami.

Wymiary manipulatora zostały zdeterminowane przez pozostałe elementy ciągu produkcyjnego i powinny zawierać się w granicach : długość 1750 mm, szerokość 1300 mm, wysokość płaszczyzny palety 660 mm, skok osi pionowej około 300 mm. Wymiary podstawki do końcówek zawiera się w prostopadłościanie 120x80x20 mm, jej waga nie przekracza 50 gramów.

Czas pracy manipulatora z uwagi na przebieg procesu wytwórczego końcówek określono następująco :

- okresową pracę, co 16 minut - polegającą na przełożeniu 32 tacek z palety na miejsce gdzie tacki układane są w stosy,
- ułożenie na palecie 32 pustych tacek podawanych przez automatyczny podajnik.

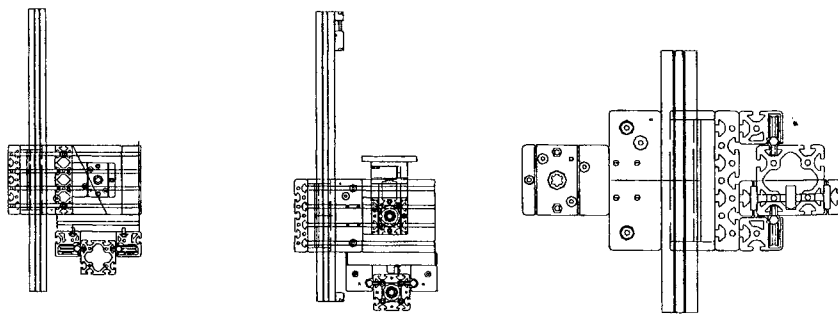
Z uwagi na okresową pracę uzyskiwane przez manipulator prędkości ruchu mogą nie przekraczać 0.5 m/s przy małych wartościach przyspieszeń. Założenia powyższe umożliwiają dobór układów napędowych o mniejszej mocy, co wpływa na obniżenie kosztów konstrukcji. Dokładność manipulatora określono na 0.2 mm, co wynika z dokładności wytwarzania tacek i zapewnienia możliwości prawidłowego układania ich w stopy.

1.2. Koncepcja konstrukcji mechanicznej manipulatora

Przystępując do projektowania części mechanicznej manipulatora założono, że jego konstrukcja zbudowana zostanie z modułów oferowanych przez firmę ITEM. Przyjęcie modułowego rozwiązania układu mechanicznego umożliwia :

- dostęp do szerokiej oferty podzespołów wchodzących w skład systemu ITEM,
- uproszczenie montażu urządzenia,
- łatwą integrację z innymi elementami systemu produkcyjnego.

W pierwszej fazie opracowywania koncepcji manipulatora oparto się na modułach napędów z paskiem zębatym wchodzących w skład systemu ITEM. W przedstawionej na rysunku 1 pierwszych koncepcjach założono, że oś Y oraz Z zbudowane będą z zastosowaniem standardowych elementów konstrukcyjnych takich jak : profile, prowadnice, zespoły napędowe (końcówki z kołami napędowymi).



Rysunek 1. Koncepcja osi Y-Z manipulatora oparta na elementach systemu ITEM

Analizując powyższą konstrukcję zespół projektowy zauważył, że do przemieszczenia tacki o masie około 50 gramów wymagane jest zabudowa układów mechanicznych i napędowych w osiach Y i Z o masie przekraczającej kilkaset razy masę manipulowanego przedmiotu. Opracowane rozwiązania osi Y o Z okazały się nie optymalne ze względu na zbyt dużą masę przemieszczanych elementów manipulatora. Istotnym obciążeniem manipulatora w tym przypadku okazały się ciężkie zespoły napędowe w skład których wchodzi : silnik, przekładnia, moduły paska zębatego.

Z uwagi na możliwość umieszczenia napędu osi X manipulatora bezpośrednio na podstawie w ciągu dalszych prac założono, że oś ta będzie napędzana za pomocą serwonapędu z przekładnią planetarną o obniżonym luzie oraz przekładnią z paskiem zębatym.

Istotne obniżenie masy manipulatora i uproszczenie konstrukcji można było zrealizować wyłączenie przez zmianę koncepcji napędu. Alternatywą mógł być serwonapęd pneumatyczny lub bezpośredni napęd liniowy. Postanowiono, że zastosowane zostaną nowoczesne napędy liniowe firmy LinMot®, które opisano w następnym rozdziale.

2. NAPĘD LINIOWY MANIPULATORA KARTEZJAŃSKIEGO

2.1 Wstęp

W roku 2002 mija dokładnie sto lat od czasu, w którym A. Zahden uzyskał patent na silnik liniowy. Warto więc przypomnieć parę ważnych dat z historii rozwoju napędów.

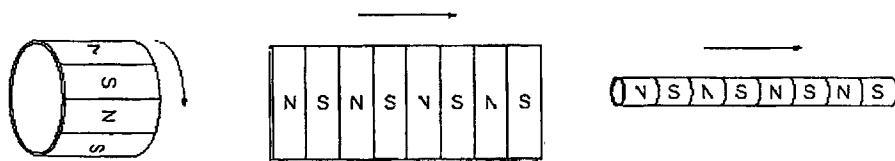
Pierwszy model silnika elektrycznego zbudował 1831 M. Faraday, zaś pierwszy komutatorowy silnik elektryczny o praktycznym zastosowaniu w 1834 M.H. Jacobi. Projektant zastosował go do napędu łódki. Istotną datą w rozwoju napędu elektrycznego było zbudowanie 1887 przez J.N. Teslę 2-fazowego silnika indukcyjnego. W latach 1889–90 silnik 3-fazowy z wirnikiem klatkowym zbudował M. Doliwo-Dobrowolski. W roku 1902 E. Danielson zbudował silnik synchroniczny, którego prędkość obrotowa ściśle zależała od częstotliwości prądu zasilającego, a w tym samym roku A. Zahden uzyskał patent na silnik liniowy.[1]

Obecnie obserwować można silny rozwój układów napędowych z wykorzystaniem zdobyczy współczesnej elektroniki. Układ napędowy to dzisiaj nie tylko silnik, ale również elektroniczny układ sterujący, który umożliwia uzyskanie nowych właściwości użytkowych przez znane konstrukcje silników elektrycznych (sterowanie wektorowe dla silników asynchronicznych, falowniki dla silników synchronicznych, sterowanie mikro krokiem silników skokowych). Współczesne zespoły napędowe to rozwiązania z dziedziny mechatroniki – połączenia elektroniki, mechaniki i informatyki.

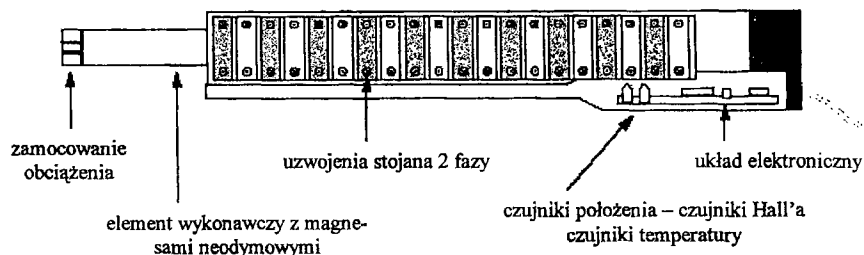
Zastosowanie elektronicznych układów sterujących i pomiarowych oraz nowoczesnych materiałów magnetycznych umożliwiło firmie Linmot® konstrukcję silnika liniowego o interesujących parametrach konstrukcyjnych. Dzięki uprzejmości firmy LinMot umożliwiono autorowi artykułu przedstawienie ich konstrukcji.

2.2 Konstrukcja silników liniowych firmy LinMot®

Istotą rozwiązania silnika liniowego firmy LinMot® jest koncepcja rozwinięcia zasady działania silnika synchronicznego [2]. Standardowy silnik synchroniczny z magnesami na wirniku i uzwojeniem na stojanie zamieniono na pręt z magnesami trwałymi oraz stojan z uzwojeniami i zintegrowanym układem elektronicznym. Na rysunku 2 pokazano zasadę rozwinięcia wirnika silnika synchronicznego, a na rysunku 3 przekrój budowy silnika liniowego firmy LinMot



Rysunek 2. Zamiana cylindrycznego wirnika silnika synchronicznego na prętowy układ stosowany w silniku liniowym



Rysunek 3. Przekrój silnika liniowego firmy LinMot®

Silniki liniowe LinMot są dwu fazowymi silnikami synchronicznymi ze wzbudzeniem za pomocą magnesów trwałych. Silnik składa się ze stojana, w którym zabudowano :

- uzwojenia sterujące pracą silnika,
- łożyskowanie ślizgowe,
- czujniki położenia oraz czujniki temperatury

oraz wykonanego ze stali nierdzewnej pręta, w którym zabudowano neodymowe magnesy stałe.

Zespół stojana jest hermetycznie zamknięty w stalowym cylindrze stanowiącym dobre zabezpieczenie przed uszkodzeniem oraz emisją zakłóceń radioelektrycznych. W czasie pracy pręt napędowy silnika prowadzony jest przez wykonane z tworzywa łożysko ślizgowe zabudowane w stojanie. W czasie pracy silnika nie ma połączenia elektrycznego pomiędzy stojaniem i prętem napędowym, detekcja położenia pręta odbywa się na zasadzie wykrywania zmian pola magnetycznego przez zintegrowane ze stojaniem czujniki Hall'a.

Przewidziane do zastosowania w projektowanym manipulatorze silniki cechuje następujące parametry użytkowe :

Parametr	Jednostki	Typ P01-37x120
Siła maksymalna	[N]	120
Skok	[mm]	1400
Maksymalne przyspieszenie	[m/s ²]	165
Powtarzalność	[mm]	<± 0.1
Powtarzalność z czujnikiem zewnętrznym	[mm]	<± 0.01
Srednica stojana	[mm]	37
Długość stojana	[mm]	227
Masa statora	[g]	700
Masa pręta napędowego	[g]	L=350mm 1297 L=890mm 2227

Z powyższej tabeli wynika, że silnik liniowy cechuje duża wartość uzyskiwanego przyspieszenia liniowego oraz stosunkowo mała wartość siły rozwijanej przez silnik. Konstrukcja silnika oraz uzyskiwane parametry eliminują jego zastosowanie w napędach ciężkich maszyn, natomiast znakomicie predysponują go do pracy w aplikacjach, gdzie zależy nam na szybkim przenoszeniu części o małej masie.

Z tabeli parametrów wynika, że napęd liniowy charakteryzuje się stosunkowo dużym ciężarem pręta napędowego, mimo to i tak cały napęd jest kilkakrotnie lżejszy w porównaniu do standardowego zespołu napędowego. Podkreślić należy, że silnik liniowy nie wymaga stosowania układów przeniesienia napędu – pręt napędowy działa jak tłoczysko siłownika pneumatycznego z tą różnicą, że mamy możliwość dowolnego pozycjonowania w całym zakresie jego ruchu. Wyeliminowane jest niekorzystne zjawisko luzu oraz nieliniowej charakterystyki przłożenia. Ciekawą właściwością prezentowanego silnika jest możliwość montażu, gdy unieruchomiony jest :

- stator – w tym przypadku pręt przemieszcza się względem statora,
- pręt - w tym przypadku stator przemieszcza się względem pręta.

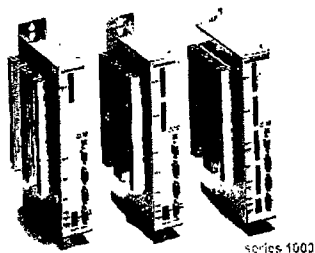
Silnik liniowy LinMot® wymaga zabezpieczenia pręta przed obrotem w przypadkach, gdy ruch obrotowy pręta jest niewskazany lub wręcz zabroniony. W przypadku manipulatora kartezjańskiego taki przypadek występuje w osi Z manipulatora, gdzie wykluczony jest ruch obrotowy przyssawkowego chwytaka tacki. W takim przypadku należy zastosować dodatkowe prowadzenie pręta, najlepiej za pomocą prowadnicy kulowej lub, gdy aplikacja tego nie wymaga zwykłego mechanicznego zabezpieczenia przed obrotem przez prowadzenie dodatkowego prowadnika w rowku prowadzącym. Silnik wymaga dodatkowej prowadnicy w przypadku obciążeń działających prostopadłe do osi przesuwu pręta i wynika to z budowy silnika [3] (łożysko ślizgowe z tworzywa sztucznego), ten przypadek w rozważanej aplikacji nie występuje. Na rysunku 4 przedstawiono widok jednego z modeli silników liniowych firmy LinMot®.



Rysunek 4. Silnik liniowy firmy LinMot® - widok ogólny

2.3 Układ sterowania silnikami liniowymi LinMot®

Istotnym elementem współczesnego napędu jest moduł elektroniczny – stopień mocy. Jego właściwości decydują o parametrach napędu oraz o możliwościach funkcjonalnych całego zespołu napędowego. Na rysunku 5 przedstawiono wygląd serwowzmacniacza serii 1000.

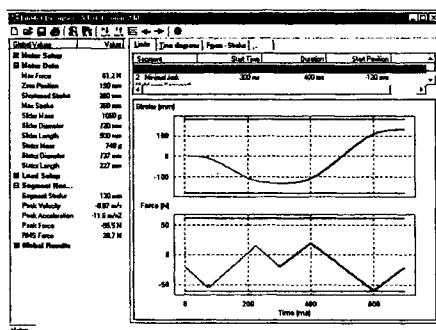


Rysunek 5. Serwowzmacniacze serii 1000 przeznaczone dla silników liniowych

Zastosowane w konstrukcji manipulatora silniki liniowe mogą być wyposażone w dwa typy serwowzmacniaczy, z których każdy może mieć dodatkowo kilka odmian. Dobór serwowzmacniacza zależy od typu wybranego silnika i od wymaganych parametrów pracy napędu.[4]

Dostępne na internetowej stronie firmy LinMot darmowe oprogramowanie LinMotDesigner umożliwia dobór silnika liniowego, serwowzmacniacza przy zadanym obciążeniu oraz wymaganej trajektorii ruchu. Trajektorię można wygenerować korzystając edytora umożliwiającego wybór trajektorii : trapezowej, trygonometrycznej, z minimalnym jerkiem (pochodna przyspieszenia). Można również wprowadzić trajektorię ruchu przygotowaną przez użytkownika, za pomocą odpowiednio sformatowanego pliku tekstowego. Program LinMotDesigner sprawdza obciążenie silnika i serwowzmacniacza przy zadanej trajektorii i obciążeniu oraz weryfikuje obciążenie termiczne silnika dla zadanej ilości cykli pracy silnika.

Na rysunku 6 przedstawiono okno programu LinMotDesigner w którym zaprezentowano wyniki obliczeń dla osi Z zaprojektowanego manipulatora.



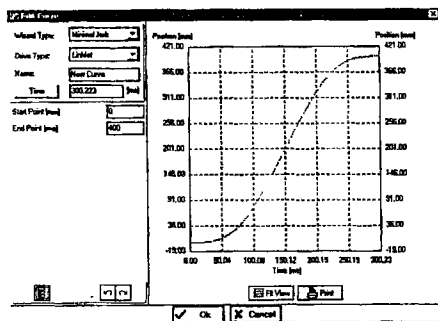
Rysunek 6. Przebieg siły w pionowej osi Z manipulatora przy zadanej trajektorii ruchu i obciążeniu – program LinMotDesigner.

Dla opisywanej konstrukcji dobrano serwowzmacniacze typu MT, które przy zastosowaniu kilku wejść/wyjść binarnych w prosty sposób można zintegrować z nadrzędnym układem sterowania, w którym zastosowano przemysłowy sterownik PLC. W pamięci serwowzmacniacza definiować można do 64 różnych położeń dla maksymalnie czterech osi napędowych. Wybór położenia lub zadanej trajektorii odbywa się przez cyfrowe wejścia binarne. Informację o stanie pracy siłownika zapewniają konfigurowalne wyjścia cyfrowe. Układ elektroniczny umożliwia sterowanie silnikiem przy pomocy wejścia analogowego oraz dołączenie enkodera nadrzędnego umożliwiając synchronizację ruchu pomiędzy dwoma niezależnymi napędami, lub w celu zapewnienia wysokiej dokładności pozycjonowania.

Układ sterujący silnikami liniowymi cechuje elastyczność konfiguracji oraz przemysłowe rozwiązania zapewniające maksymalnie dużą funkcjonalność, co istotne jest z punktu widzenia konstruktora - automatyka. Możliwe jest także sterowanie standardowym silnikiem krokowym.

Serwowzmacniacze LinMot konfigurowane jest przez oprogramowanie LinMotTalk, które integruje w sobie funkcje : konfiguracji napędu, definiowania trajektorii oraz tabeli położeń, elektronicznego oscyloskopu umożliwiającego podgląd parametrów pracy napędu, co istotne jest podczas doboru parametrów wewnętrznego regulatora położenia. Oprogramowanie działa na platformie PC i komunikuje się z serwowzmacniaczem za pomocą interfejsu RS 232.

Na rysunku 7 przedstawiono okno programu LinMotTalk, w którym definiowane są parametry trajektorii członu wykonawczego manipulatora.



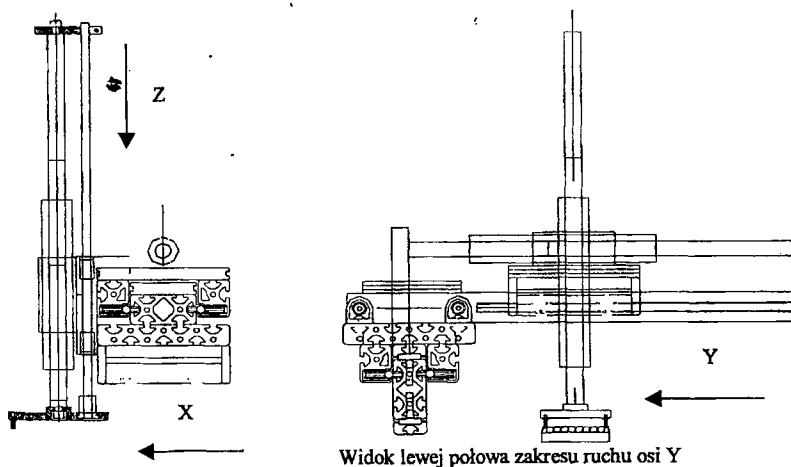
Rysunek 7. Okno definicji trajektorii ruchu silnika – program LinMotTalk

Opisywany zespół napędowy umożliwił prostą integrację mechaniczną w strukturze manipulatora oraz elektryczną w układzie sterowania. W następnym rozdziale przedstawiono opracowane rozwiązanie manipulatora kartezjańskiego z napędami liniowymi.

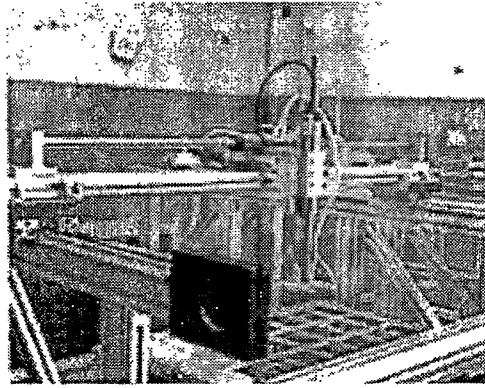
3. MANIPULATOR KARTEZJAŃSKI Z NAPĘDAMI LINIOWYMI

3.1 Konstrukcja manipulatora kartezjańskiego z napędami liniowymi

Konstrukcja manipulatora oparta jest o standardowe elementy konstrukcyjne z programu ITEM. Oś X manipulatora napędzana jest za pomocą konwencjonalnego zespołu napędowego składającego się z synchronicznego silnika bezszczotkowego, przekładni planetarnej oraz przekładni z paskiem zębatym zamieniającej ruch obrotowy napędu na ruch postępowy wózka osi X manipulatora. Napędy liniowe zastosowano w dwóch osiach zaprojektowanego manipulatora (osie Y oraz Z). Uzyskane zakresy ruchów pokrywają się z parametrami zadanymi podczas formułowania zadania projektowego. Na rysunku 8 przedstawiono konstrukcje natomiast na rysunku 9 przedstawiono wygląd zmontowanego manipulatora.



Rysunek 8. Rysunki osi Y oraz Z zaprojektowanego manipulatora kartezjańskiego z silnikami liniowymi



Rysunek 9. Ogólny widok manipulatora kartezyjskiego.

Silniki liniowe sterowane są za pomocą serwowzmaczniaczy serii MT1000 oraz MT100 zapewniających uzyskiwanie do 32 położeń zapisanych w pamięci stałej EEPROM. Specjalna funkcja sterownika zapewnia możliwość uczenia zadnych położeń manipulatora w procedurze „tech-in” – uczenie przez zadanie położenia przez operatora. Projektując trajektorię ruchu wykorzystano możliwość generacji trajektorii z minimalnym jerkiem. Umożliwiło to płynne poruszanie się manipulatora, szczególnie przy operacji podnoszenia i opuszczania pełnej tacki.

4. WNIOSKI

Zastosowanie nowoczesnych napędów liniowych umożliwiło budowę manipulatora kartezyjskiego o obniżonej masie elementów ruchomych. Obniżenie masy umożliwiło zastosowanie napędów o mniejszej mocy przy utrzymaniu zakładanych parametrów ruchu manipulatora. Zastosowane napędy liniowe zastosować można do napędu urządzeń wymagających dużych przyspieszeń przy małej sile efektywnej silnika. Zastosowanie napędu liniowego korzystnie wpłynęło na parametry dokładnościowe napędu, eliminując niekorzystne zjawisko luzu spotykane w przekładniach zębatych. Zastosowany elektroniczny układ mocy zapewnił prostą integrację silnika w układzie sterowania.

Zbudowany manipulator został zbudowany z części i podzespołów oferowanych przez zagranicznych dostawców. W ofercie polskiego przemysłu brakuje nowoczesnych i układów napędowych oraz zunifikowanych, modularnych podzespołów mechanicznych do budowy przemysłowych urządzeń automatyki. Niestety większość innowacyjnych pomysłów oraz produktów w tej branży jest dziełem zagranicznych firm. Duże zacofanie polskiego przemysłu w tej dziedzinie przyczynia się do małego stopnia automatyzacji oraz konieczności importu większości podzespołów lub wręcz kompletnych rozwiązań do celów automatyzacji procesów produkcyjnych.

LITERATURA

- [1] *Internetowa encyklopedia PWN* – hasło : napędy
- [2] *LinMot P Linear Motors*; Sulzer Electronics AG, 1998
- [3] *Servo Controller Linmot*; Sulzer Electronics AG, 1998
- [4] *LinMot Design*; Sulzer Electronics AG, 1998