

Budowa i parametry chwytaka elektrycznego z silnikiem skokowym

dr inż. Jan Barczyk
Instytut Automatyki i Robotyki
Politechniki Warszawskiej

Przedstawiono budowę oraz parametry techniczne chwytaka z napędem elektrycznym, zbudowanego w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej. W układzie napędowym zastosowano silnik skokowy, a w układzie przeniesienia napędu zębatą przekładnię pasową oraz samohamowną przekładnię śrubową. Przekładnia śrubowa, z lewoskrętnym i prawoskrętnym gwintem, połączona jest z układem kinematycznym, realizującym równoległe przemieszczenie końcówek chwytanych. Układ sterowania chwytakiem składa się z układu logicznego i generatora impulsów oraz sterownika silnika skokowego.

O ROZWOJU ZADAŃ STAWIANYCH CHWYTKOM ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Roboty przemysłowe wyposażane są w różnego rodzaju urządzenia chwytające [1, 2], wśród których najczęściej stosowane są chwytaki zawierające mechanizm utrzymujący obiekt w końcówkach chwytanych. Urządzenia chwytające są obecnie najbardziej zróżnicowanym konstrukcyjnie zespołem robotów przemysłowych, gdyż ogromna różnorodność obiektów manipulacji, wielorakość zadań, pojawiające się nowe obszary zastosowań robotów, zmienność parametrów procesu manipulacji i inne warunki wymuszają tworzenie wciąż nowych rozwiązań chwytaków. Współcześnie, coraz częściej wymaganiem stawianym chwytakom jest możliwość regulowania siły chwytu, a także sterowania położeniem końcówek chwytanych. Jest to np. niezbędne podczas wykonywania delikatnych operacji montażowych, w których występuje ściskanie i łączenie elementów, w szczególności z tworzyw sztucznych. Jednak chwytaki dostarczane obecnie przez producentów robotów przemysłowych chwytaki takiej możliwości nie mają i dla konkretnych aplikacji należy przystosować chwytak typowy (np. ograniczając maksymalną wartość siły chwytu) albo konstruować chwytak specjalny, umożliwiający prawidłowy przebieg procesu chwytania.

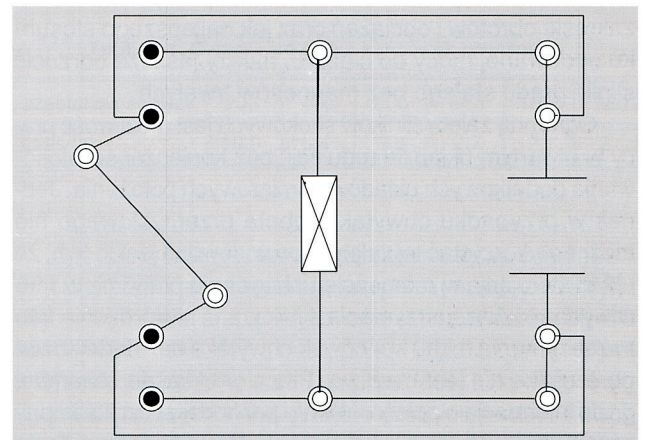
Rozwój konstrukcji urządzeń chwytających dla robotów przebiegał dotychczas raczej w kierunku ich specjalizacji (przystosowania do konkretnego zadania) niż w kierunku ich uniwersalności. Obliczono [1], że około 65 % obiektów może być uchwyconych przez chwytaki z dwiema końcówkami, dodatkowo 25 % – przez chwytaki z trzema końcówkami, a tylko około 10 % obiektów wymaga stosowania bardziej złożonych rozwiązań.

Najważniejszymi parametrami technicznymi chwytaków są: siła chwytu podawana przez producenta (dopuszczalna masa chwytanego obiektu uwzględnia wartość tej siły oraz parametry robota i procesu manipulacji), czasy uchwycenia i uwolnienia obiektu, masa chwytaka i jego wymiary gabarytowe oraz wskaźniki niezawodności działania.

STRUKTURA BUDOWY CHWYTKA

Podstawowymi zespołami chwytaka są: układ napędowy oraz system przeniesienia napędu na końcówki chwytane. Większość stosowanych obecnie chwytaków ma napęd pneumatyczny. Wynika to z realizacji zazwyczaj nieskomplikowanego zadania zacisku końcówek chwytanych na powierzchni obiektu. Taki chwytak ma dwa stany pra-

cy – zamknięty i otwarty, co odpowiada stanom uchwycenia i uwolnienia obiektu. Zespół napędowy chwytaka stanowi siłownik pneumatyczny dwustronnego lub jednostronnego działania (ze sprężyną zwrotną), a przemieszczenie i siła wytwarzane w zespole napędowym przenoszone są na końcówki chwytne.

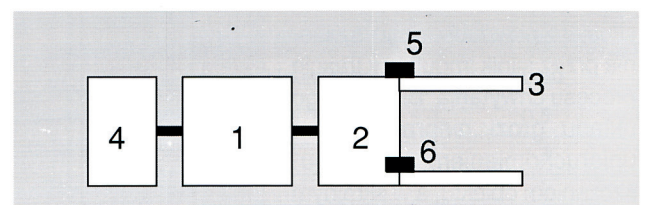


Rys. 1. Schemat kinematyczny chwytaka z napędem pneumatycznym

W chwytaku (rys. 1) zbudowanym w Instytucie Automatyki i Robotyki Przemysłowej (IAP) PW siła napędowa wytwarzana jest przez siłownik pneumatyczny umieszczony poprzecznie między ramionami chwytaka. Siłownik mocowany jest wahliwie do belek czworoboku przegubowego za pomocą układu łożysk poprzecznych.

Wyraźna dominacja napędu elektrycznego we współczesnych robotach przemysłowych i rozszerzający się obszar zastosowań robotów sprzyja tworzeniu konstrukcji chwytaków z napędem elektrycznym, jednak dotychczas producenci robotów nie oferują chwytaków w standardowym wyposażeniu.

W PW prowadzone są prace związane z zastosowaniem napędu elektrycznego w chwytakach. Uproszczony schemat budowy takiego chwytaka przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat budowy chwytaka elektrycznego: 1 – silnik, 2 – układ przeniesienia napędu, 3 – końcówki chwytne, 4 – układ pomiarowy, 5 – czujnik otwarcia, 6 – czujnik zamknięcia

UKŁAD NAPĘDOWY CHWYTAKA ELEKTRYCZNEGO

Chwytnak jest urządzeniem wymiennym, umieszczonym na końcu struktury kinematycznej robota, powinien więc mieć własny, niezależny napęd a jego silnik powinien rozwijać jak największy moment obrotowy i posiadać jak najmniejszą masę, wymiary oraz prędkość obrotową wału. Spośród całej gamy silników, należy również wybierać tylko te, które umożliwiają dowolne położenie pracy oraz mają możliwość sterowania zapewniającego wytworzenie momentu przy zatrzymanym wale (np. sterowanie typu „aktywne zero”). Ten ostatni warunek ma na celu zapewnienie wytwarzania momentu napędowego w trakcie trzymania przedmiotu, co następuje w czasie unieruchomienia wału silnika.

Po przeprowadzonej analizie okazało się, że do napędu chwytnaków stosować można jedynie silniki prądu stałego oraz silniki skokowe [4]. Natomiast po uwzględnieniu warunku zapewnienia stabilności pracy w szerokim zakresie obrotów i obciążeń oraz jak najlepszego stosunku oddawanej mocy do ciężaru, należy jeszcze odrzucić silniki prądu stałego bez magnesów trwałych.

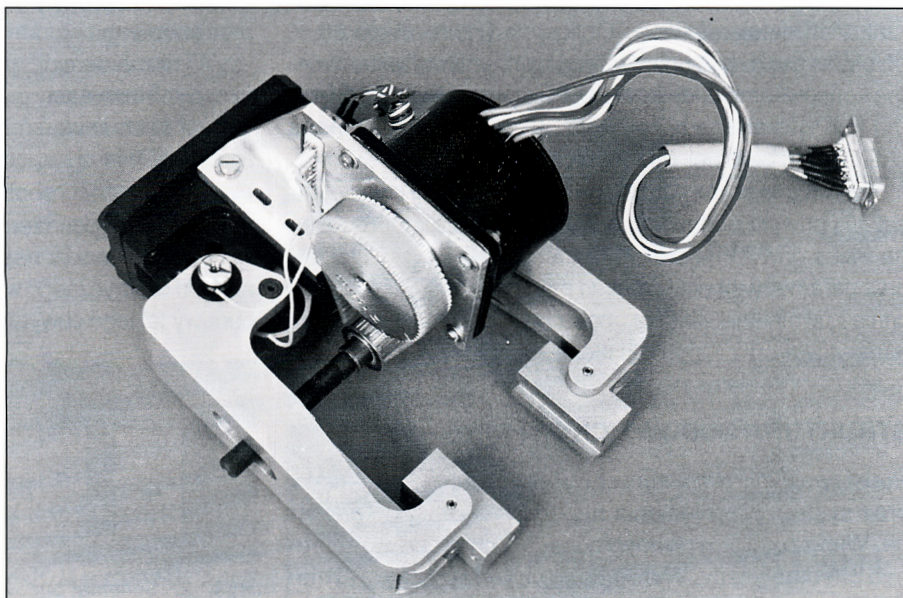
Ogromną zaletą silników skokowych jest możliwość pracy w otwartym układzie regulacji, bez konieczności stosowania dodatkowych układów pomiarowych położenia. Jednak w przypadku chwytnaka robota przemysłowego nie można wykorzystać tej zalety. Spowodowane jest to tym, że układ sterujący, w momencie uchwylenia przedmiotu musi wydać rozkaz zatrzymania silnika, zaś stwierdzenie faktu zatrzymania ruchu końcówek chwytnaka bez dodatkowego czujnika nie jest możliwe. Praca w układzie otwartym, gdzie informacja o położeniu wału pochodzi z licznika impulsów sterujących dla silnika grozi błędami przy uchwyleniu przedmiotu. Wynika to z tego, że chwytnane detale różnią się od siebie wymiarami, a zatem występuje różnica w liczbie skoków silnika zapewniających prawidłowe uchwylenie. Jedynym urządzeniem, mogącym poinformować układ sterujący o konieczności zaprzestania przesyłania impulsów skoków, jest czujnik siły nacisku. Jego zadaniem, po przekroczeniu zadanej siły chwytu, jest zablokowanie dalszych skoków silnika, aby nie doszło do zgubienia impulsu. Ponadto praca w układzie otwartym z wykorzystaniem licznika wymaga dodatkowego zabiegu po włączeniu zasilania, jakim jest wyzerowanie stanu licznika w jednej ze skrajnych pozycji końcówek chwytanych. Dodatkowo potrzebny jest też układ zabezpieczający przed skutkami przypadkowego zgubienia przez silnik impulsu w trakcie procesu chwytania. Brak takiego układu grozi nieprawidłowym unieruchomieniem lub wypuszczeniem obiektu, a w skrajnym przypadku nawet zupełnym brakiem chwytu (brakiem kontaktu końcówek z obiektem). Należy

również pamiętać o tym, że silniki skokowe przy pracy „start-stopowej” rozwijają znacznie mniejsze prędkości niż silniki prądu stałego, oraz wymagają bardziej rozbudowanego układu sterowania.

Istnieją zatem istotne przeciwwskazania do bezkrytycznego wykorzystania silników skokowych w napędach chwytnaków, zwłaszcza przy braku dodatkowych czujników. Można je jednak z powodzeniem stosować do napędu chwytnaków w określonych, stabilnych warunkach pracy, głównie ze względu na ich pozostałe właściwości użytkowe, takie jak: wysoki moment przy wolnych obrotach, pełna kontrola nad prędkością obrotową wału silnika oraz występowanie momentu przy postoju (chwycie) bez żadnych dodatkowych zabiegów, pierwsze z nich pozwala na zmniejszenie rozmiarów reduktora, a nawet całkowite eliminowanie konieczności jego stosowania. Do napędu chwytnaka nadają się zwłaszcza silniki pracujące przy wyższych częstotliwościach przełączeń i przy mniejszym skoku podstawowym, np. silniki reluktancyjne. Jednak momenty rozwijane przez te silniki są znacznie mniejsze od uzyskiwanych z silników magnetoelektrycznych.

Przedstawione rozważania prowadzą do wniosku, iż w przypadku chwytnaka konieczne jest osiągnięcie przez silnik dużego momentu przy małym skoku. Właściwość taką posiadają wyłącznie silniki skokowe hybrydowe. Aby jednak w pełni wykorzystać zalety napędów elektrycznych, niezbędne jest zastosowanie dodatkowych czujników zamontowanych w chwytnaku, dostarczających informacji potrzebnych do pracy układu sterującego, w szczególności informujących o położeniu wału silnika (pozycji końcówek chwytanych) [5]. W opisanym tam chwytnaku zamontowano czujnik maksymalnego rozwarcia końcówek chwytanych oraz czujnik zamknięcia chwytnaka (zwarcia końcówek).

W chwytnaku, przedstawionym na rys. 3, użyto silnika skokowego FA-23-4-1 produkcji Przedsiębiorstwa Specjalnych Maszyn Elektrycznych Małej Mocy MIKROMA z Wrześni. Należy zaznaczyć, iż wymiary, masa i moc tego silnika nie są najlepiej dostosowane do potrzeb chwyt-

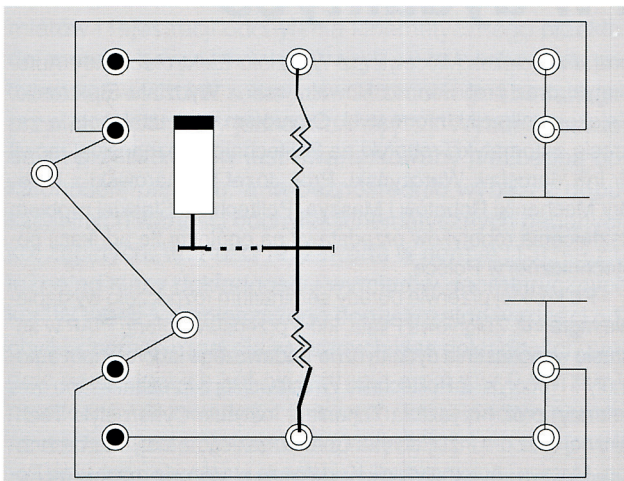


Rys. 3. Widok chwytnaka z silnikiem skokowym

taka (trochę je przerastają), lecz posiada on odpowiedni moment napędowy i częstotliwość pracy. Dla silnika skokowego FA-23-4-1 wytwórca zaleca stosowanie z dostarczanym przez siebie gotowym układem elektronicznym o symbolu ESB-11-23, którego zadaniem jest dystrybucja prądu do poszczególnych faz silnika. Sygnały sterujące występujące w układzie to:

- sygnał z zewnętrznego generatora, informujący układ wykonawczy o żądanej prędkości obrotowej silnika (częstotliwości skoków),
- sygnał kierunku (stan wysoki tego sygnału oznacza obroty w lewo, niski w prawo),
- sygnał start/stop dla generatora, decydujący o tym, czy silnik obraca się, czy stoi.

W chwytaku elektrycznym z silnikiem skokowym (rys. 4) zaadaptowano konstrukcję chwytaka pierwotnie z napędem pneumatycznym. W nowym rozwiązaniu zamiast siłownika pneumatycznego zastosowano przekładnię, nadającą się do współpracy z silnikiem elektrycznym. Najodpowiedniejszym mechanizmem, zastępującym liniowe przemieszczenie tłoczyska siłownika pneumatycznego w napędach elektrycznych, są przekładnie, które bezpośrednio zmieniają ruch obrotowy silnika na ruch li-



Rys. 4. Schemat układu przeniesienia napędu w chwytaku elektrycznym

niowy. W tym celu wykorzystywane są dwa rodzaje przekładni: zębniak-zębatka i przekładnia śrubowa.

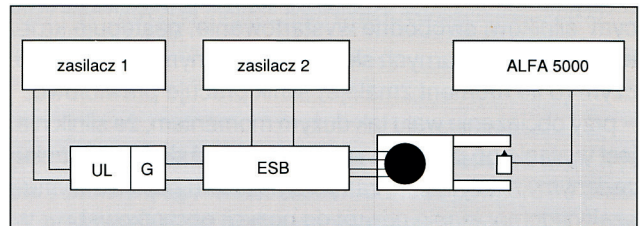
W omawianym chwytaku z silnikiem skokowym zastosowano układ redukcji prędkości oraz mechanizm śrubowy, przy czym śruba ma osobne 2 sekcje z gwintem lewo- i prawoskrętnym, a każde z nich współpracuje z osobną nakrętką. Dzięki temu, kiedy śruba obraca się to dwie nakrętki, połączone z układem kinematycznym dźwigni chwytaka, powodują, zależnie od kierunku obrotu silnika, zwieranie lub rozwieranie końcówek chwytanych. W układzie przeniesienia napędu z silnika na śrubę wykorzystano przekładnię z paskiem zębatym. W ten sposób za pośrednictwem przekładni silnik skokowy przenosi moment $M_{sk} = 213 \text{ mNm}$.

W układzie zastosowano śrubę samohamowną, co umożliwia, po chwilowym dostarczeniu odpowiedniej siły na końcówki chwytaka, zmniejszenie momentu wywieranego przez silnik do wartości niezbędnej do skompensowania luzów w przekładniach, a mechanizm pozostanie

w zadanej pozycji chwytu. Samohamowność śruby jest szczególnie ważna dla silników prądu stałego, które nie powinny pracować przy zatrzymanym wałku.

BADANIE CHWYTAKA Z SILNIKIEM SKOKOWYM

W celu dokonania pomiarów wartości siły chwytu na końcówkach chwytanych zestawiono układ pomiarowy, rys. 5.

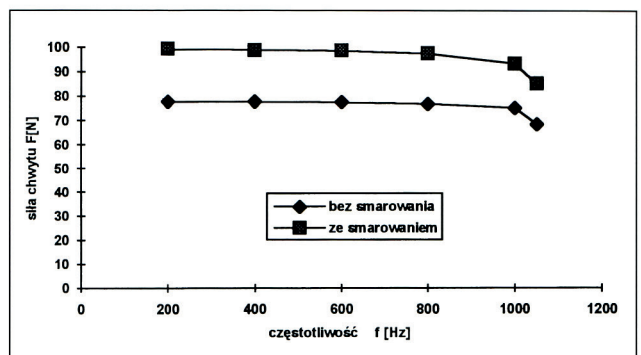


Rys. 5. Układ do pomiaru siły chwytu chwytaka z silnikiem skokowym

Tablica 1. Czasy zamykania końcówek chwytanych

częstotliwość [Hz]	200	400	600	800	1000	1050
czas [s]	10,9	5,4	3,6	2,7	2,1	2

Siłę chwytu zmierzono czujnikiem siły w zależności od częstotliwości generatora i współczynnika tarcia między nakrętkami a śrubą. Wykonano serie pomiarów siły dla każdej częstotliwości, a następnie wszystkie pomiary powtórzone po zaaplikowaniu do przekładni kilku kropli oliwy między nakrętki a śrubę. Pełne zestawienie uzyskanych wyników przedstawia rys. 6, natomiast zebrane podstawowe parametry chwytaka elektrycznego z silnikiem skokowym w tabl. 2.



Rys. 6. Wykres zmian siły chwytu w zależności od częstotliwości

Tablica 2. Parametry chwytaka z napędem elektrycznym

Parametry chwytaka	Wartość
Przełożenie pasowej przekładni zębatej	60/20'
Skok śruby [mm]	0,5
Masa chwytaka [kg]	1,4
Zakres ruchu końcówek [mm]	65
Siła chwytu [N]	80
Czas zamykania/otwierania [s]	3,0

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań przedstawić można następujące uwagi oraz wnioski:

- minimalne napięcie potrzebne do uruchomienia silnika wynosi 10 V,
- zatrzymanie ruchu następuje natychmiast po wystąpieniu sygnału STOP (ręcznego lub z czujnika krańcowego),
- przy obciążeniu wału dużym momentem, utrudniającym silnikowi swobodne wystartowanie, następuje krótka seria nieregularnych skoków w zadanym kierunku, po czym (o ile moment zmaleje) silnik pracuje prawidłowo,
- przy obciążeniu wału tak dużym momentem, że silnik nie jest w stanie go pokonać, następuje krótki skok w kierunku zadanym i zatrzymanie, zaś po wyłączeniu napięcia wymuszającego następuje powrót do pozycji początkowej,
- uzyskano zadowalającą wartość siły chwytu (od 80 N do 100 N), zależną jednak od warunków pracy przekładni śrubowej,
- wadą chwytaka z silnikiem skokowym jest jego duża masa, wynikająca z masy samego silnika, $m_s = 0,65$ kg.

Celowe jest kontynuowanie prac związanych z budową chwytaków elektrycznych z silnikiem skokowym, polegających na optymalnym doborze silnika, użyciu układu pomiaru położenia końcówek chwytanych oraz budowie układu sterowania chwytakiem.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Pham D.T., Heginbotham W.B.: Robot Grippers. IFS (Publications) Ltd., Bedford 1986
 - [2] Barczyk J.: Urządzenia chwytające robotów przemysłowych. W monografii „Podstawowe problemy współczesnej techniki”, t. XXV Robotyka, PWN 1987
 - [3] Barczyk J.: Klasyfikacja układów przeniesienia napędu w chwytakach robotów przemysłowych. I Krajowa Konferencja Robotyki. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, nr 67, str. 3-14. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej Wrocław 1985
 - [4] Barczyk J.: Wybrane problemy budowy chwytaków z napędem elektrycznym. V Krajowa Konferencja Robotyki. Prace Naukowe Instytutu Cybernetyki Technicznej Politechniki Wrocławskiej, nr 96, str. 307-314. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej Wrocław 1996
 - [5] Kaczmarek P., Polecki P.: Projekt chwytaka z napędem elektrycznym. Praca dyplomowa. Instytut Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1996
-

Abstracts

Construction and Parameters of Electric Grasper with Stepper Motor

Jan Barczyk – p.11

A presentation of construction and technical parameters of an electricity operated grasper constructed in the Institute of Automation and Robotics of Warsaw Technical University. In the motion system a stepper motor has be used.