



Przemysław FILIPEK, Tomasz KAMIŃSKI, Tomasz PRÓCHNIAK

PROJEKT KONSTRUKCYJNY RAMIENIA ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono wirtualny i rzeczywisty model ramienia robota przemysłowego z chwytakiem. Podano założenia konstrukcyjne i parametry modelu. Ramię składa się z podstawy, dźwigarów, kiści oraz chwytaka. Jako elementów wykonawczych użyto silników DC z przekładniami ślimakowymi oraz serwomechanizmów.

WSTĘP

W teorii przyjęło się, że robot przemysłowy jest urządzeniem uniwersalnym, wykorzystywanym do wielu zastosowań. Jednak z przyczyn ekonomicznych konstrukcję poszczególnych układów i części dostosowuje się do przewidywanego zakresu działań. Każdy konstruktor poza podjęciem decyzji o wymiarach, prędkości i udźwigu musi zastanowić się nad doбором napędu, budową jednostki i struktury kinematycznej, sterowania oraz doбором czujników, układu zasilania i wielu innych. Wszystkie te rozważania mają znaczący wpływ na sztywność konstrukcji i wielkość zajmowanej przestrzeni roboczej.

Bardzo trudne, a wręcz niemożliwe jest stworzenie jednego, uniwersalnego modelu robota przemysłowego bazującego na konkretnych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Umownie przyjmuje się wyższość jednych rozwiązań nad innymi, ale bardzo często ma miejsce sytuacja, w której konstrukcje uważane za tzw. „lepsze” nie mają praktycznego zastosowania w danym robocie. Doskonałym przykładem jest robot o strukturze kinematycznej w konfiguracji kartezyjskiej PPP, który dzięki 3 liniowemu napędowi, łatwości programowania oraz dużej sztywności wydaje się być najlepszym rozwiązaniem. Jednak nie można zastosować go w warunkach o małej przestrzeni roboczej, ponieważ wymaga stosunkowo dużo miejsca do pracy. Stosując napędy pneumatyczne w konstrukcji robota zyskujemy bardzo dużą pewność ruchową i odporność na wibracje jednak musimy się liczyć z głośną pracą mechanizmu. Każdy robot w zależności od wielu czynników takich jak rodzaj wykonywanej pracy czy warunki eksploatacji wymaga zastosowania indywidualnych rozwiązań konstrukcyjnych.

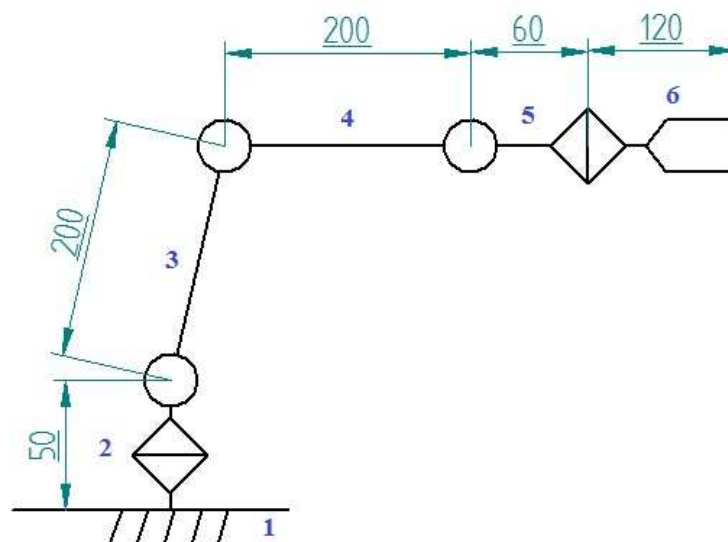
1. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE

Głównym założeniem niniejszej pracy było zbudowanie modelu ramienia robota przemysłowego o kilku stopniach swobody mogącego przenosić przedmioty o niewielkich gabarytach i masie.

Ważnym czynnikiem mającym wpływ na wykonanie projektu była dostępność materiałów do budowy robota, dlatego zdecydowano się użyć do konstrukcji profili aluminiowych i blachy kwasoodpornej, a jako zasilanie zastosować 12V akumulator. Uwzględniając wnioski wynikające z przeglądu rozwiązań konstrukcyjnych zdecydowano się zastosować chwytak równoległy o siłowym sposobie chwytania, a do napędu silniki elektryczne - serwomechanizmy modelarskie oraz silniki prądu stałego, które zapewniają prostotę konstrukcji oraz dużą dokładność pozycjonowania. Jednostka kinematyczna o budowie monolitycznej składa się z (Rys. 1.) :

- Podstawy (1),
- Obrotnicy (2),
- Ramienia (3),
- Przedramienia (4),
- Kiści (5),
- Chwybaka (6).

Wszystkie z wymienionych członów za wyjątkiem podstawy są członami czynnymi i są połączone między sobą pięcioma obrotowymi parami kinematycznymi klasy V posiadającymi po jednym stopniu swobody.



Rys. 1. Schemat kinematyczny ramienia robota przemysłowego

Przyjęto następujące założenia konstrukcyjne dla projektowanego robota:

- maksymalna masa transportowanego obiektu: 0,2 kg,
- maksymalne wymiary transportowanego obiektu : $0,05 \times 0,05 \times 0,05$ m,
- zasięg ramienia 0,5÷0,6 m mierzony od osi obrotnicy.

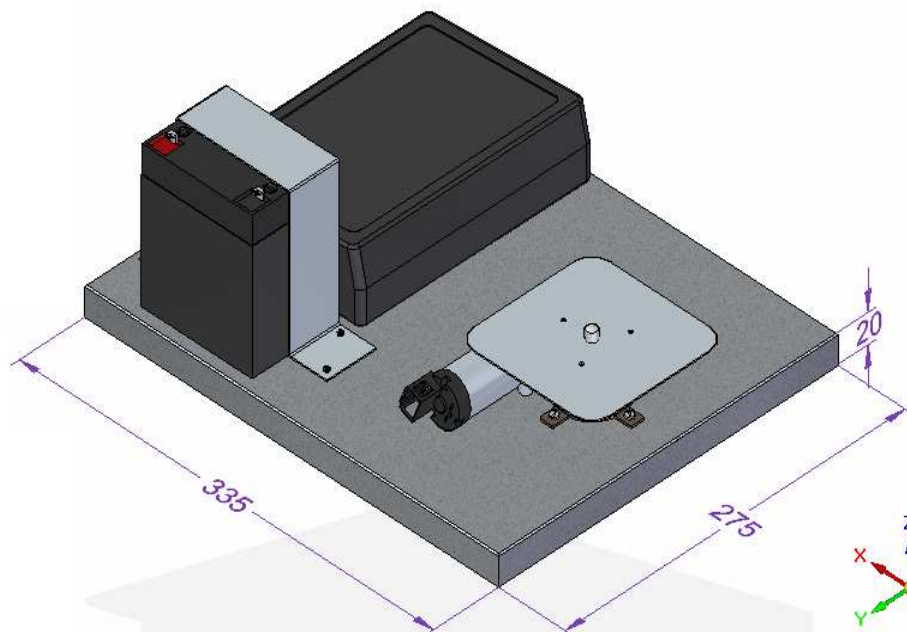
2. MODEL RAMIENIA ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO

Model ramienia robota został wykonany przy pomocy programu do komputerowego wspomagania projektowania CAD 3D pracującego na platformie Microsoft Windows. Wykorzystanie komputera w znaczny sposób ułatwiło i przyspieszyło proces projektowania oraz pozwoliło na stworzenie w pełni sparametryzowanej dokumentacji na podstawie której wykonano rzeczywisty model robota.

Jako narzędzie do wykonania modelu CAD wykorzystano oprogramowanie Solid Edge with Synchronous Technology 4 (ST4) firmy Siemens PLM Software. Jest to narzędzie inżynierskie o szerokim zakresie funkcjonalności i przeznaczone jest do tworzenia parametrycznych modeli 3D pojedynczych elementów, zespołów oraz sporządzania kompletnej dokumentacji rysunkowej.

2.1. Podstawa ramienia

Cała konstrukcja ramienia została osadzona na podstawie o wymiarach 335 x 275 x 20 mm (długość x szerokość x wysokość) na której umiejscowiono 12 V akumulator, panel sterowania oraz mechanizm obrotnicy (Rys. 2.)

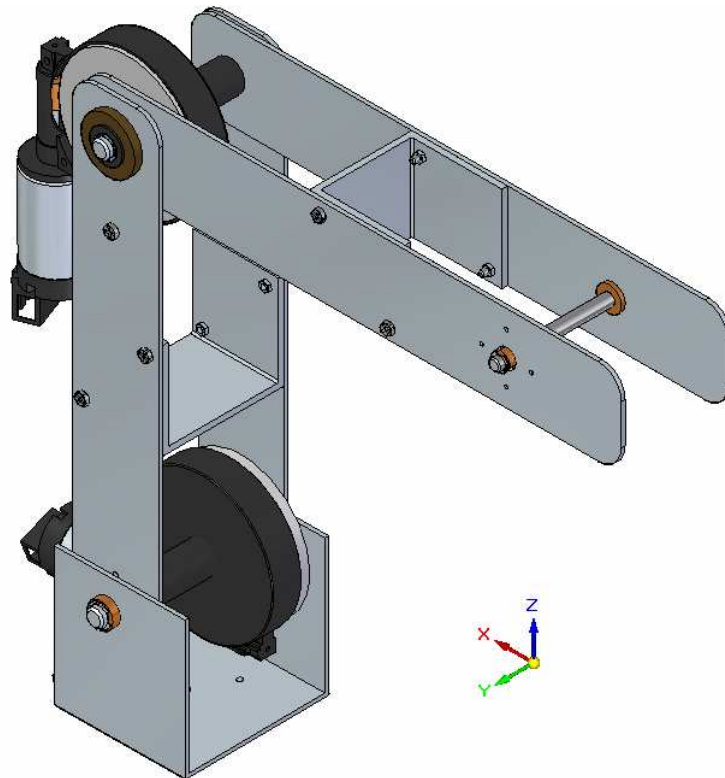


Rys. 2. Podstawa robota przemysłowego

Mechanizm obrotnicy składa się z łożyska kulkowego oporowego 51205 umieszczonego w stalowej tulei, na którym znajduje się koło ślimakowe. Ślimacznica poprzez ślimak na wale silnika zapewnia ruch obrotowy przymocowanej do niej platformy obrotnicy. Całość skręcona jest do podstawy śrubą M8 z luzem pozwalającym na obrót platformy obrotnicy względem podstawy mechanizmu. Na platformie obrotnicy zamontowano na sztywno zespół dźwigarów.

2.2. Dźwigary

Zespół dźwigarów robota (Rys. 3.) składa się z czterech profili aluminiowych o grubości 2 mm, które pełnią funkcję ramienia i przedramienia. Profile te zostały dodatkowo wzmocnione ceownikami, które zapewniającymi większą sztywność. Rolę sprzęgła między platformą obrotnicy, a zespołem dźwigarów spełnia aluminiowy ceownik, który jest jednocześnie podstawą dźwigarów.



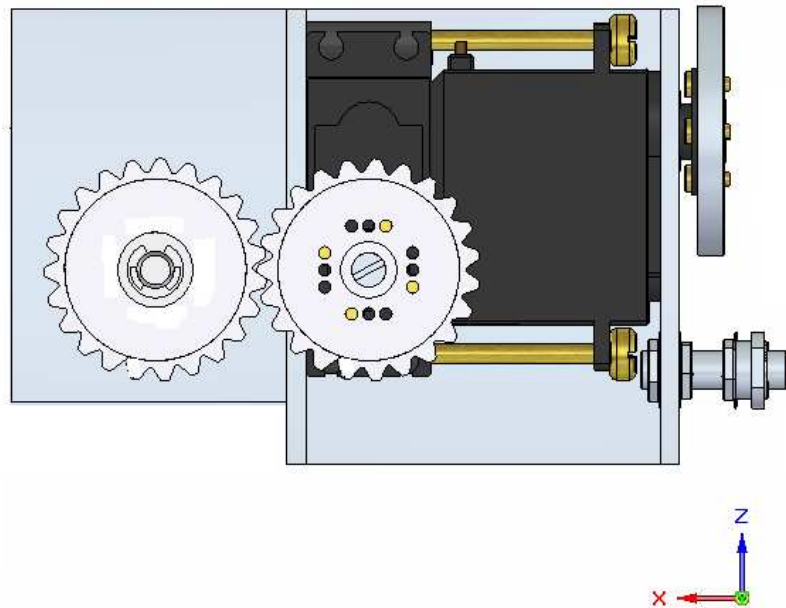
Rys. 3. Zespół dźwigarów

Połączenia obrotowe w przegubach barkowym, łokciowym oraz połączenie przedramienia z kiścią robota zapewniono łącząc aluminiowe profile przy pomocy stalowych wałków o średnicach $\phi 9$ mm i $\phi 6$ mm umieszczonych w łożyskach ślizgowych, które osadzono w otworach profili. Aby zapobiec przesunięciom osiowym łożysk zastosowano pierścienie Segera. Napęd przegubu barkowego rozwiązano stosując tak jak w przypadku obrotnicy silnik prądu stałego z przekładnią ślimakową. Koło ślimakowe osadzono współosiowo z wałem przegubu i przymocowano na stałe do jednego z profili ramienia stosując wkręty samogwintujące. Silnik wraz z obudową przekładni przytwierdzono do podstawy zespołu dźwigarowego. Takie rozwiązanie pozwala to na obrót ramienia w zakresie $0 - 150^\circ$. Zastosowanie przekładni ślimakowej zwiększa moc silnika oraz zapewnia samohamowność. Cecha ta sprawia, że w jednym kierunku mechanizm ślimakowy działa jako przekładnia, a w drugim jako hamulec, co zapewnia utrzymanie położenia dźwigara po odłączeniu zasilania silnika. W analogiczny sposób rozwiązano konstrukcję przegubu łokciowego z tą różnicą, że koło ślimakowe zamocowano na profilu przedramienia, a silnik z obudową przekładni na profilu ramienia.

2.3. Kiść

Kiść robota (Rys. 4.) jest elementem łączącym przedramię oraz efektor końcowy, którym jest chwytak. Element ten realizuje również ruchy stawu nadgarstka czyli obrót lewo – prawo oraz góra – dół. Kiść w projektowanym ramieniu robota przemysłowego składa się z dwóch serwomechanizmów, które zapewniają wymienione powyżej ruchy. Serwomechanizmy połączone ze sobą skręcając je na sztywno w obudowie wykonanej z aluminiowych ceowników. Przegub przedramię – kiść ma możliwość obrotu w zakresie $0 - 180^\circ$. Napęd przegubu opiera się na dwóch koła zębatych o przełożeniu 1:1, z których jedno przymocowane jest bez możliwości obrotu współosiowo z wałem przegubu do profilu

przedramienia, a drugie poprzez orczyk z wielowypustem do wału serwomechanizmu. Cały ciężar kiści oparto na wale przegubu co pozwoliło odciążać serwomechanizm.

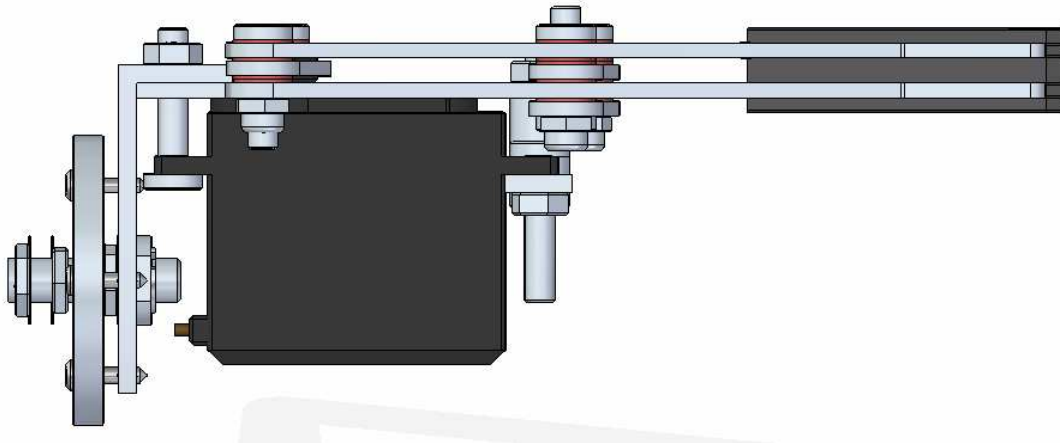


Rys. 4. Kiść ramienia robota – widok boczny

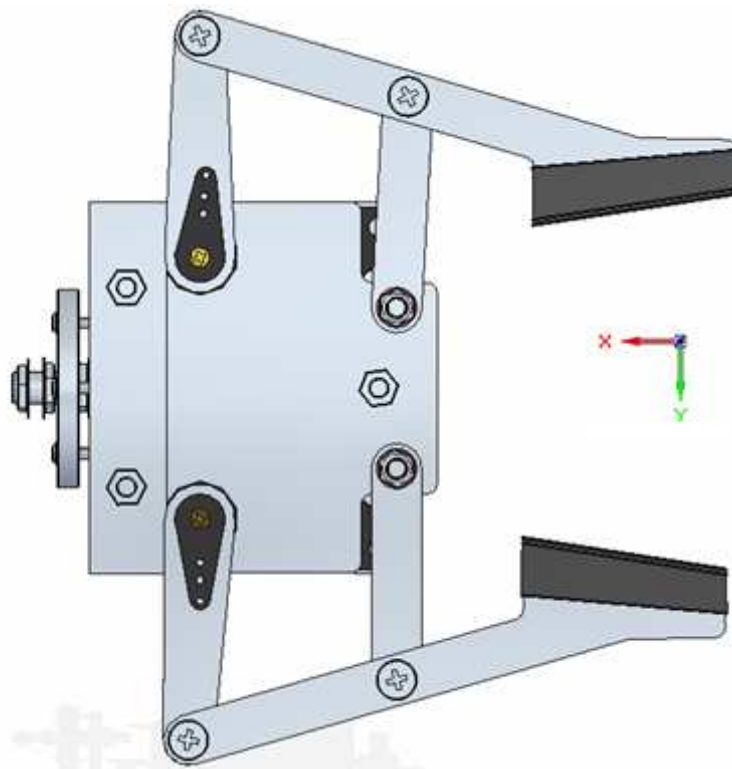
Połączenie obrotowe kiści z chwytakiem robota zrealizowano korzystając z rozwiązań konstrukcyjnych użytych w przegubie przedramię – kiść co zapewniło zakres ruchu przegubu w granicach 0 -180°. Ciężar chwytaka przeniesiono na wał ϕ 6 mm, którego jeden koniec na sztywno skręcono z obudową kiści, a drugi połączono obrotowo przy pomocy łożyska ślizgowego z profilem chwytaka. Napęd z serwomechanizmu przekazywany jest przez dwa koła zębate o przełożeniu 1:1, z których jedno zamocowano bez możliwości obrotu do chwytaka, a drugie do wału serwomechanizmu.

2.4. Chwytnik

Jako efektor końcowy ramienia robota przemysłowego zastosowano chwytak równoległy o siłowym sposobie chwytania (Rys. 5 i 6.). Mechanizm chwytaka napędzany jest dwoma serwomechanizmami. Składa się on z profilu wykonanego z aluminium cienien z blachy kwasoodpornej i serwomechanizmów. Szczęka chwytaka składają się z profilu ciągną napędzającego i dwóch podwójnych profili ciągnen pomocniczych realizujących uchwyt. Poszczególne elementy skręcono między sobą i profilem chwytaka śrubami M3 stosując pomiędzy podkładki ślizgowe, które zmniejszają tarcie pomiędzy elementami mechanizmu. Napęd przekazywany jest z wału serwa na poprzez ciągną napędzające przymocowane do orczyka serwomechanizmu. Na częściach chwytających ciągnen przymocowano gumowe nakładki zwiększające powierzchnię chwytu i jednocześnie zapewniające lepsze uchwycenie przedmiotu transportowanego.



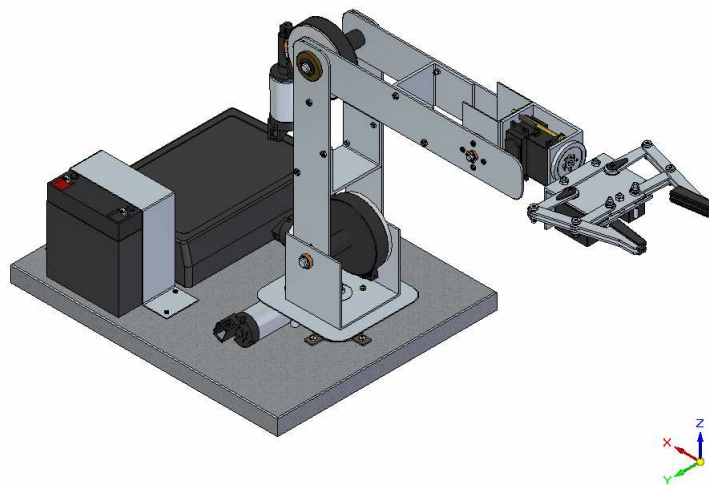
Rys. 5. Mechanizm chwytaka – widok boczny



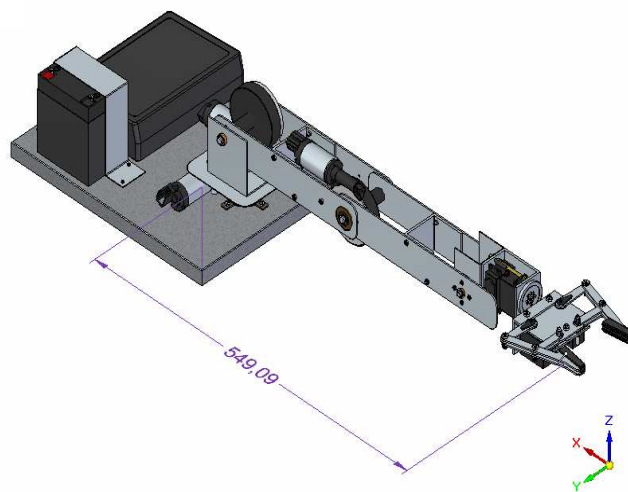
Rys. 6. Mechanizm chwytaka – widok z góry

2.5. Złożenie końcowe

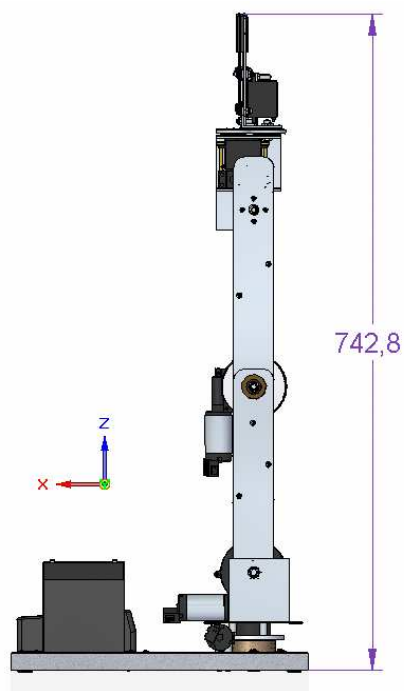
Łącząc wszystkie elementy składowe wykonano gotowy projekt ramienia robota przemysłowego na podstawie którego powstał rzeczywisty model mechanizmu (Rys. 7, 8, 9.). Dzięki zastosowaniu poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych omówionych powyżej uzyskano funkcjonalny model ramienia robota przemysłowego. Maksymalny zasięg ramienia od brzegu podstawy wynosi ok. 550 mm.



Rys. 7. Złożenie końcowe ramienia robota przemysłowego



Rys. 8. Maksymalny zasięg ramienia



Rys. 9. Wysokość mechanizmu

2.6. Sterowanie

Sterowanie przegubami ramienia odbywa się ręcznie – za pomocą pulpitu. Operator ma do dyspozycji sześć przegubów, z czego trzy najniższe zbudowane są przy wykorzystaniu silników DC z przekładnią ślimakową, a trzy najwyższe działają w oparciu o serwomechanizmy modelarskie.

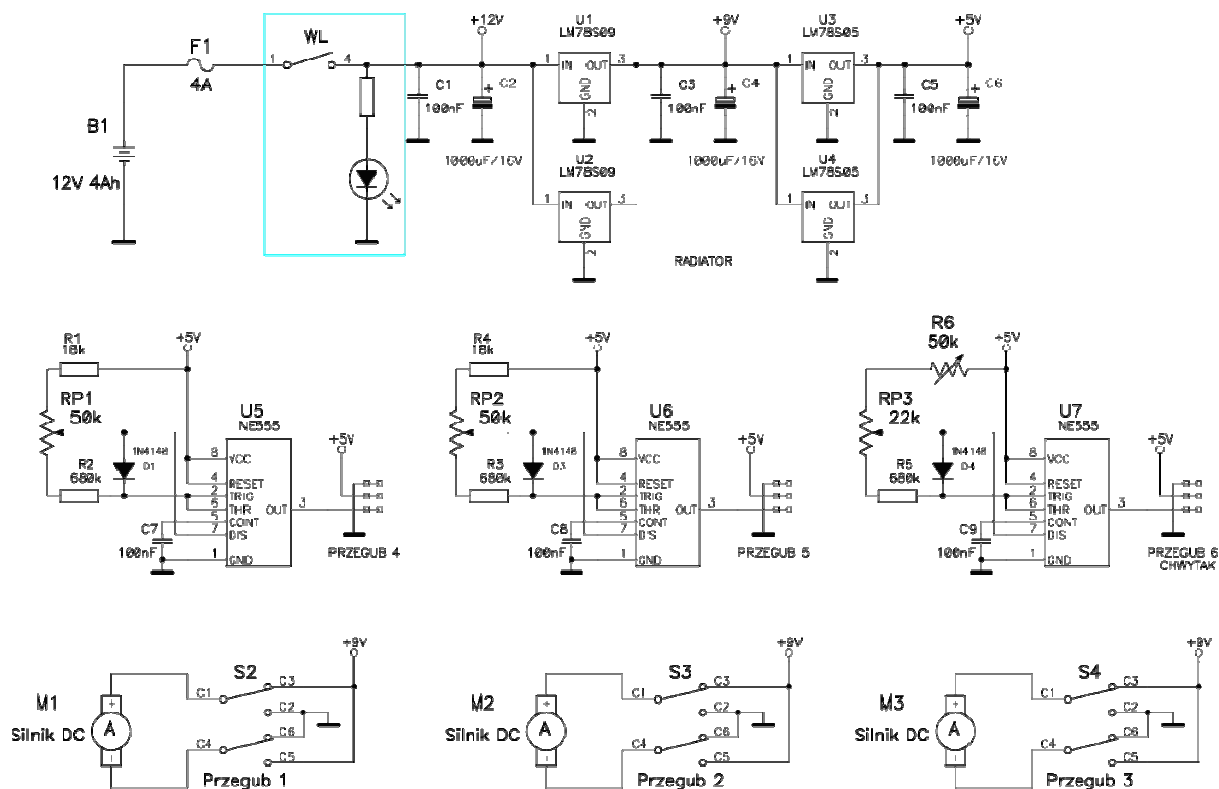
Na układ elektroniczny (Rys. 10.) składa się blok zasilający, moduły sterujące serwomechanizmami oraz kierunkowe włączniki silników DC.

Napięcie z akumulatora 12 V 4 Ah podawane jest przez bezpiecznik 4 A i podświetlany wyłącznik główny, na zespół stabilizatorów scalonych 9 V i 5 V. Użyto podwójnych, dwuamperowych stabilizatorów, które łącznie można obciążyć prądem 4 A. Pomiędzy stabilizatorami zastosowano układ filtrów pojemnościowych aby wygładzić ewentualne skoki napięcia oraz zminimalizować zakłócenia prądowe od przełączników. Stabilizatory umieszczono na odpowiednio dużym radiatorze aby odprowadzić wydzielające się na nich podczas pracy przy obciążeniu - ciepło.

Najwyżej położone przeguby poruszają się dzięki trzem modelarskim serwom, które zasilane są z generatorów zbudowanych za pomocą popularnego układu „555”.

Za pomocą potencjometrów regulujemy częstotliwość generatora, co powoduje odpowiednie przekręcanie się osi serwomechanizmu i ruch przegubu.

Silniki DC, które pracują w dolnych przegubach, włącza się za pomocą astabilnego przełącznika, zmieniając polaryzację zasilania – co umożliwia ruch obrotowy silnika w obie strony. Aby zapobiec nadmiernemu ruchowi przegubu, które może prowadzić nawet do jego uszkodzenia, zastosowano po dwa mikrowyłączniki – odcinające zasilanie silnika. Serwomechanizmy mają tak dobrane potencjometry, że ich ruch obrotowy nie wykracza poza skrajne wartości ruchu przegubów.

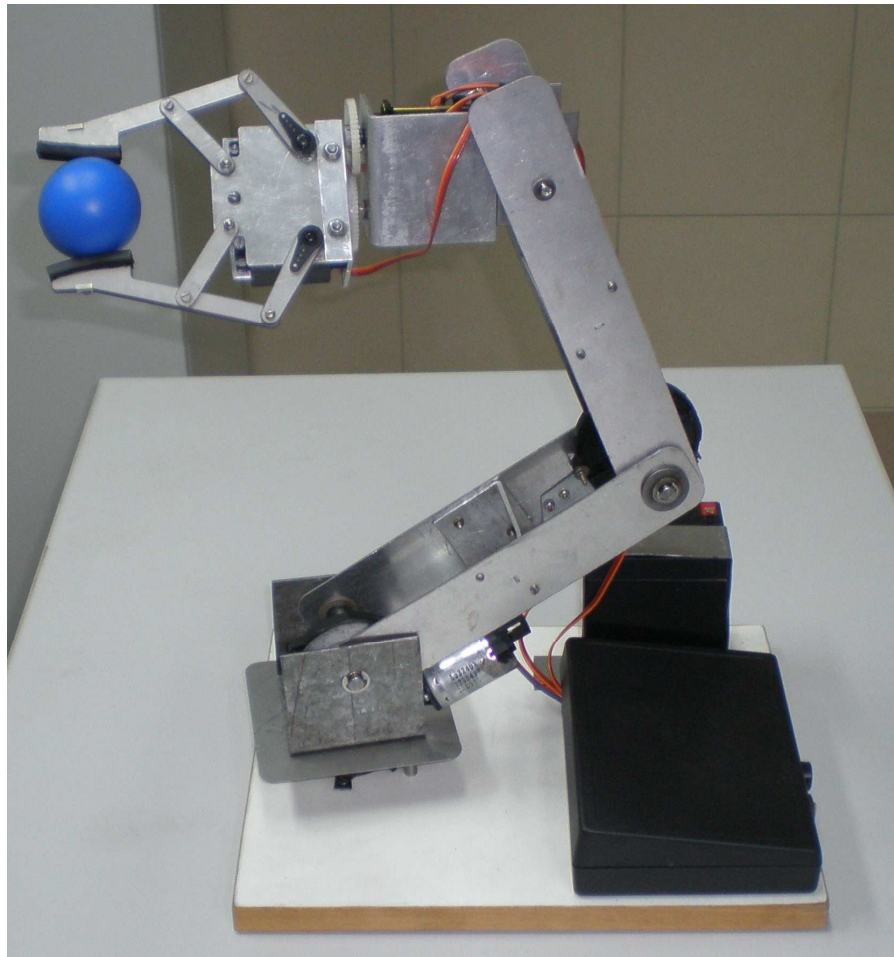


Rys. 10. Schemat układu ręcznego sterowania ramieniem robota przemysłowego

3. KONSTRUKCJA RZECZYWISTA

Wykonanie rzeczywistego projektu robota (Fot. 1.) zostało zrealizowane w warsztacie mechanicznym Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Lubelskiej.

Cięgna chwytaka zostały wykonane z profili wyciętych z blachy kwasoodpornej i połączone obrotowo śrubami M3 z nakrętkami oporowymi. Aby ułatwić ruch cięgien zastosowano podkładki ślizgowe. Ruch szczęk jest realizowany przez dwa takie same serwomechanizmy zależne od siebie, wykonujące ruch przeciwny, w trakcie gdy jeden serwomechanizm obraca się w prawo, drugi wykonuje ruch w lewo.



Fot. 1. Wykonany, rzeczywisty model ramienia robota przemysłowego

PODSUMOWANIE

W realizowanym projekcie ramienia robota przemysłowego, przeznaczonego do transportu detali o niewielkim ciężarze i gabarytach szczególną uwagę zwrócono na taki dobór elementów i materiałów konstrukcyjnych, aby były łatwo dostępne podczas budowy rzeczywistego modelu. Główne elementy wykonano z profili aluminiowych o grubości 2 mm, które zapewniają dużą sztywność konstrukcji przy jednoczesnej minimalizacji jej wagi.

Profile aluminiowe zostały w większości wycięte strumieniem wodnym aby zachować odpowiednią dokładność cięcia.

Zgodnie z założeniami i przeprowadzonym schematem obliczeń (nie zamieszczonym w niniejszej publikacji), do napędów przegubów przenoszących obciążenia do 1 Nm wykorzystano trzy takie same serwomechanizmy. Przeguby wymagające większego momentu

napędowego, napędzane są przez silniki DC połączone z przekładniami ślimakowymi. Aby nie uszkodzić mechanizmu zastosowano mikrowyłączniki odcinające zasilanie w przypadku osiągnięcia przez ramię skrajnej pozycji. Całość układu napędowego zasilana jest przez akumulator 12 V 4 Ah. Poszczególne przeguby połączone są obrotowo przy użyciu stalowych wałów osadzonych w łożyskach ślizgowych.

Całość mechanizmu wyposażona jest w prosty układ sterowania dzięki któremu można zaprezentować możliwości ramienia robota przemysłowego. Wykonany model może służyć do transportu niewielkich przedmiotów. Ramię będzie wykorzystane również do celów dydaktycznych. Można na jego podstawie stworzyć stanowisko badawcze dla studentów w laboratorium mechatroniki.

DESIGN PROJECT OF ROBOT INDUSTRIAL SHOULDER

Abstract

Article show real and virtual project of robot industrial shoulder with gripper. It presented project parameters and assumptions project. Shoulder is consist of base, girders, bunch and gripper. As an executive element they used DC engines with worm gears and servomechanisms.

BIBLIOGRAFIA

1. Czarnigowski J., Ferdynus M., Kuśmierz L., Ponieważ G.: *Podstawy konstrukcji maszyn – zbiór zadań*. Edit Sp. z o. o., Otwock 2008.
2. Honczarenko J.: *Roboty przemysłowe – budowa i zastosowanie*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2004.
3. Jezierski E.: *Dynamika robotów*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2006.
4. Morecki A., Knapczyk J., Kędzior K.: *Teoria mechanizmów i manipulatorów*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2002.

Autorzy:

dr inż. Przemysław FILIPEK– Politechnika Lubelska

dr inż. Tomasz KAMIŃSKI– Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa

inż. Tomasz PRÓCHNIAK– student studiów II stopnia Politechniki Lubelskiej