

АНАЛИЗ И ИЗБОР НА СТРУКТУРНИ КОМПОНЕНТИ НА НИСКОСТОЙНОСТЕН ПАРАЛЕЛЕН ДЕЛТА РОБОТ

Д-р инж. Станислав Цолов

Технически университет – София (България)

Резюме. Настоящата разработка има за цел избор на структурни компоненти за нискостойностен паралелен делта робот. Необходимо е да се управляват и контролират три актуатора, които задвижват кинематичните вериги на робота. Самите актуатори са реализирани чрез използване на серводвигатели. За основен критерий при съставяне на схемата и избора на компоненти е приет икономическият показател, като са търсени решения, които изискват минимален бюджет. Електрическата схема е реализирана, като са спазени всички изисквания – големина на прекъсвачи, мощност на захранвания и др. Използван е индустриален стил на организация на компонентите.

Ключови думи: автоматизация; нискостойностен делта робот; компоненти

1. Увод

В съвременната индустриална автоматизация все повече се наблюдава задълбочаване на интереса към нискостойностни индустриални роботи поради това, че те са бюджетно решение, чрез което лесно може да бъде постигната определена степен на автоматизация (Dimitrov 2019; Malakov 2014; Malakov 2023). Спрямо класическите индустриални роботи нискостойностните са със значително по ниски параметри (товароносимост, скорост, точност на позициониране) от гледна точка на тяхната производителност, както и не толкова голям експлоатационен живот (Dichev 2022; Nikolov 2019). Въпреки това, благодарение на ниската си цена, биват предпочитани от малки, тепърва развиващи се компании за подпомагане на не толкова претенциозни и отговорни производствени процеси. Този тип работи в последните години се превръщат в достъпно решение за автоматизация с минимално влагане на първоначален капитал.

Определено лидер в нискостойностната индустриална роботизация е Китай. Типичен представител е фирмата Borunte, чиято гама от предлагани работи е впечатляваща. Те предлагат класически антропоморфни ро-

боти, SCARA роботи, Delta работи, както и дори няколко типа мобилни работи, като всичките са бюджетен клас. Например Delta роботът, предлаган от тях – BRTIRPL1003A, с 4 степени на свобода и товароносимост от 3 [kg] е около 11 000 [лв.], за сравнение IRB 365 на ABB е около 70 000 [лв.], но за сметка на това възможните скорости на работа са значително по-малки – до 1 [m/s] и ускорения до 20 [m/s²]. За сравнение, при работа на ABB могат да се достигнат до 5 [m/s] и ускорения до 60 [m/s²].

Друг представител от Европа, производител на такъв тип работи, е фирма Icus. Те предлагат няколко типоразмера бюджетни Delta работи с различна товароносимост и степени на свобода на цени до 12 000 [лв.]. Характерно за тях е, че вместо серводвигатели използват стъпкови със съчмено-винтова двойка за предавателен механизъм. По този начин с малки двигатели се постига висока товароносимост, но ниски скорости. Също така за лагериране на звената използват полимерни лагери, които са евтини и с висока товароносимост, но работят с определен луфт и не могат да бъдат използвани за прецизни задачи. Също така лагерите са и основната причина за постигане на не толкова добра точност на позициониране ± 0.5 [mm].

2. Избор на структурни компоненти

Изискванията към таблото на новопроектирания и реализиран прототип на паралелен делта робот са да отговаря на IP44, да е с размери достатъчни, че да побере управленията, захранванията, входящи/изходящи клеми, захранващи клеми и автоматични прекъсвачи, също така да е с достатъчен вътрешен обем за циркулация на въздуха, необходим за охлаждане на управленията на серводвигателите. За табло, отговарящо на всички тези изисквания, е избрано BGABS70502 на фирма Schrack (фиг. 2, поз. 1). Таблото е с IP54 и размери 700 x 500 x 250 [mm], което е напълно достатъчно за цялото оборудване.

2.1. Избор на серводвигатели и контролери

Серво двигателите са избрани според необходимите механични параметри, на които трябва да отговарят за задвижване на кинематичните вериги. Всеки от тях включва управляващ контролер Т6 (фиг. 1, поз. 9) с мощност 1 [kW] на фирма ОМС. Предимството на тези сервозадвижвания е, че са изключително евтини, може би едни от най-евтините на пазара. Също така позволяват лесен контрол на двигателите чрез импулси или серийна комуникация.

Основен недостатък е, че управляващите входове/изходи на тези контролери са NPN схема, която не се използва в апаратура, произведена за Европа. Този недостатък налага използването на допълнителни релета, чрез които NPN входовете/изходите да се обърнат на PNP.

2.2. Избор на контролер

За управляващ контролер е избран Arduino Mega 2560 Rev3 (фиг. 1, поз. 10). Предимствата на този контролер са:

- изключително бюджетно решение;
- средата за програмиране е достъпна и е на основата на C++, същевременно е и с голям набор от библиотеки;
- налични са библиотеки за импулсен контрол на серводвигатели, позволяващи интерполации, контрол на скорости и ускорения;
- начини са 4 канала за серийна комуникация, при които чрез добавяне на допълнителен модул могат да комуникират с множество серводвигатели и друга управляваща и периферна апаратура.

Съществен недостатък е, че Arduino Mega работи на захранване от 5 [V], а голяма част от индустриалната апаратура – на 24 [V], това налага използването на допълнителни релета за преобразуване на входовете и изходите от 5 [V] на 24 [V] и съответно наличие на две захранвания.

Друг недостатък е, че входовете на този контролер се влияят значително от смущения. Това налага използването на специфични похвати при реализация на управляващия софтуер с цел минимизиране на влиянието на тези смущения, например чрез забавяне на прочитането на активираните входове с 5 [ms]. Смущенията налагат свързването на входовете към земя през резистор, в случая 10 [kΩ], чрез който да се поддържа ниското ниво на неактивирания входове.

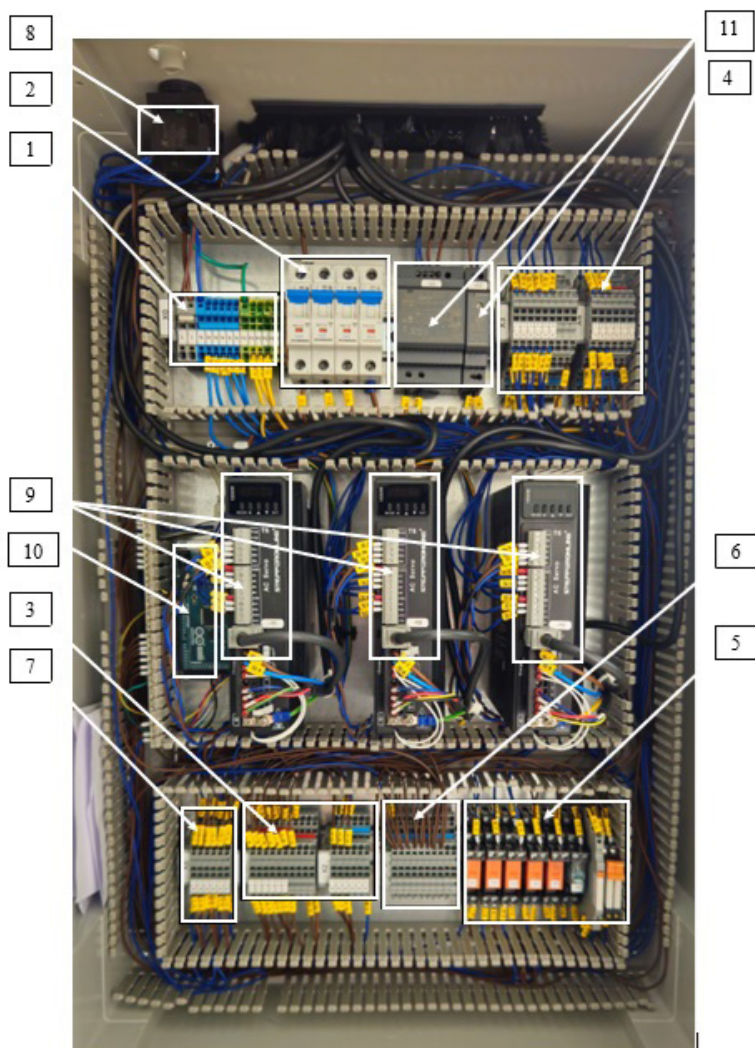
2.3. Избор на захранващи модули

За захранващи модули са избрани HDR-30-5 [5 [V]] и HDR-30-24 (24 [V]) на фирма Meanwell (фиг. 1, поз. 11). Избраните захранвания са за контролера и серводвигателите, като се използват само за захранване на логическите им блокове, съответно консумацията им не трябва да превишава 0.1 [A]. Избраните захранвания отговарят на това изискване – HDR-30-5 (3 [A]) и HDR-30-24 (1.5 [A]).

2.4. Структура на захранващия блок

Захранващият блок е съставен от захранващи клеми (фиг. 1, поз. 1), откъдето се разпределят фазата, нулата и земята към всички прекъсвачи и компоненти.

Преди да достигнат постояннотоковите захранвания и контролерите на сервомоторите, фазите преминават през автоматични прекъсвачи (фиг. 1, поз. 2) – три 6 [A] за контролерите и един 3 [A] за постояннотоковите захранвания.



Фигура 1. Реализация на избраните структурни компоненти

2.5. Структура на клемите за входовете и изходите

Клемите за входовете и изходите са разделени на две групи за 24 [V] (фиг. 1, поз. 3) и 5 [V] (фиг. 1, поз. 4). Разделението е необходимо, тъй като контролерът работи на 5 [V], а останалата апаратура на 24 [V]. Прехвърлянето на сигналите от 5 [V] към 24 [V] се осъществява посредством нормално

отворени релета (фиг. 1, поз. 5). Използвани са релета са с бобина, работеща на 5 [V] за изходите, задействани от управляващия контролер, както и релета с бобина, работеща на 24 [V], задействана от управляваната апаратура, работеща на 24 [V] при подаване на сигнал към вход на управляващия контролер. Така при подаване на сигнал (изход) 5 [V] от управляващия контролер, за да се преобразува този сигнал към 24 [V], се задейства бобината на едно от релетата, превключващи на 5 [V], на чиито отварящи и затварящи контактори е подадено 24 [V]. При получаване на сигнал от управляващия контролер (вход), входящият сигнал, който е 24 [V], се подава към бобината на реле, работещо на 24 [V], на чиито отварящи и затварящи контактори е подадено 5 [V].

С цел намаляване на смущенията входовете на управляващия контролер са постоянно свързани към земя през резистор 10 [k Ω] (фиг. 1, поз. 6). Управляващият контролер подава изходящи сигнали, активиращи следните входове на контролерите на серводвигателите:

- SI1 – Enable, служещ за включване на самия драйвер;
- SI2 – Start Homing, служещ за стартиране на процес по инициализация.

Входящите сигнали към управляващия контролер се подават от следните изходи на контролерите на серводвигателите:

- SO1 – Homing Finished сигнал за успешно извършена инициализация;
- SO2 – Alarm сигнал за изпаднал в грешка драйвер поради претоварване или загуба на позиция.

На фиг. 2 е показана извадка от разработената основна електрическа схема, която е имплементирана в прототип на нискостойностния паралелен делта робот.

2.6. Структура на клемите за импулсна комуникация

Към клемите за импулсна комуникация (фиг. 1, поз. 7) се подават импулси от управляващия контролер и се предават към PUL и DIR входовете на драйверите. Тези импулси служат за управление на позицията, скоростта и ускорението на серводвигателите.

Импулсите са с амплитуда от 5 [V], като ниско ниво е 0 [V], а високо – 5 [V]. С цел намаляване на смущенията връзката между клемите и апаратурата е осъществена чрез проводници, тип усукана двойка.

Бутонът (фиг. 1, поз. 8) служи за рестартиране на драйверите и изчистване на налични грешки. Той подава 24 [V] към входа SI3 – Alarm Clear на контролерите на серводвигателите.

Основните възможности на „EPLAN electrical“ са:

- проектиране на основните възли, позволяващо автоматизирано генериране на електрически схеми, списъци с кабели, доклади и електрическа апаратура;

- работа с всички данни при разработката на проект, което помага за лесна проследимост и корекция на параметри;
- работа с библиотеки и интеграция на EMS и ЕМА файлове;
- приложение за генериране на документи от различен тип. Генерираните бланки и документи са съобразени с международните стандарти за работа;
- разполага с библиотеки от символи и макроси, които улесняват проектирането и намаляват времето за разработка;
- приложение за симулация, включващо инструменти за симулация и проверка на проектираните схеми, което помага за откриване на грешки и оптимизация.

В таблица 1 са показани цените на избраните структурни компоненти на нискостойностния Delta робот. Корпусът на неподвижната платформа е изграден от множество фрезовани плочи, което повишава цената на робота, но въпреки това, благодарение на простата конструкция и използването на стандартни детайли, прави разработката икономически изгодна.

Таблица 1. Себестойност на избраните структурни компоненти

Компонент	Цена в [лв.]
Фрезови детайли – изработка с включена заготовка	1250.00
Стандартни изделия – оси, втулки, крепежни елементи, сачмени лагери	260.00
Полимерни сферични накрайници	144.00
Конструкция алуминиеви профили	300.00
Серво двигатели с управление – OMC T6 Servo	1901.00
Контролер Arduino Mega 2560	98.00
Електрическа апаратура – захранване 24 V, захранване 5 V, автоматични прекъсвачи, клеми, релета 24 V, релета 5 V, основи за релета, бутони	900.00
Електрическо табло	210.00
Общо:	5063.00

Тъй като роботът е проектиран за малки товари и сравнително ниски скорости спрямо стандартните индустриални роботи, за лагериращи стави са избрани стандартни полимерни сферични накрайници, които са едно от възможно най-бюджетните и ефективни решения на пазара.

Ниските изисквания за точност на позициониране към този тип работи дават възможност за избор на сервозадвижване с отношение на инерционен момент на серво двигателите към инерционен момент на движещата се маса 1 към 10 и по този начин се се избягва необходимостта от добавяне на редуктор.

Изводи и обобщения

Основното предимство на предложените компоненти е, че се използват нискобюджетни решения за управление на реален паралелен Делта робот. Електрическата схема е проста и са спазени всички индустриални стандарти за реализация на електрически табла. Основен недостатък е необходимостта от прехвърляне на управляващите сигнали на контролера от 5 [V] към 24 [V], което в определена степен усложнява схемата поради необходимостта от допълнителни релета.

Като недостатък на разработката може да се отбележи, че за управляващ контролер е използван Arduino Mega, който не е достатъчно мощен да управлява с необходимата скорост и прецизност серводвигателите в импулсен режим. Но този контролер лесно може да бъде заменен, тъй като на пазара са налице редица индустриални бюджетни решения, които да отговорят на високи изисквания.

REFERENCES

- DIMITROV, S., DIMITROV, L., DIMITROVA, R., NIKOLOV, S., 2019. Examination of the process of automated closure of containers with screw caps, *Recent Research in Control Engineering and Decision Making, Book Series, Springer Nature Switzerland AG*, vol. 199, pp. 502 – 514, https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6_41.
- DICHEV, D., DIAKOV, D., DICHEVA, R., 2022. Method for increasing the accuracy of linear measurements based on a measurement-computational approach. *AIP Conference Proceedings*, vol. 2505, Code 120008, <https://doi.org/10.1063/5.0101084>.
- MALAKOV, I.; ZAHARINOV, V., 2014. Computer Aided Determination of Criteria Priority for Structural Optimization of Technical Systems. *24th DAAAM International symposium on intelligent manufacturing and automation*, vol. 69, pp. 735 – 744. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.03.049.
- MALAKOV, I., ZAHARINOV, V., NIKOLOV, S., DIMITROVA, R., 2023. Computer-aided choosing of an optimal structural variant of a robot for extracting castings from die casting machines, *Journal Actuators, Open Access*, vol. 12, Issue 9 (September 2023), Article number 363, <https://doi.org/10.3390/act12090363>.
- NIKOLOV, S., DIMITROVA, R., TOPOV, I., 2019. New approach at mechanical engraving of details with large sizes, *International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech) 2019 Conference Proceedings*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9128261>.

ANALYSIS AND SELECTION OF STRUCTURAL COMPONENTS OF A LOW-COST PARALLEL DELTA ROBOT

Abstract. The present work aims to select structural components for a low-cost parallel delta robot. It is necessary to control and monitor three actuators that drive the kinematic chains of the robot. The actuators themselves are implemented using servo motors. The economic indicator was adopted as the main criterion when compiling the circuit and selecting components, and solutions that require a minimum budget were sought. The electrical circuit was implemented, meeting all the requirements of the control equipment – size of switches, power supply power, etc. An industrial style of component organization was used.

Keywords: automation; low-cost delta robot; components

✉ **Dr. Eng. Stanislav Tsolov**

Scopus ID: 58947182700

Technical University of Sofia

Sofia, Bulgaria

E-mail: st.tsolov90@gmail.com