

Звіт подібності

Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

2025_Овчарик_Р_М_ФІТ_ІТТС_АКСм_24_1

Автор

Овчарик Р. М.

Науковий керівник / Експерт

Паньків Ю. В.

ІД документу

333167438

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

підрозділ

Каф. ІТТС

ЗВІТ

Дата звіту

1/23/2026

Дата редагування

1/23/2026

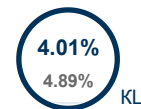
Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



16442

Кількість слів



123911

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		12
Інтервали		300
Мікропробіли		23
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		71

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту now

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	379 2.31 %
2	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	374 2.27 %
3	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	356 2.17 %
4	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	354 2.15 %

5	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	186 1.13 %
6	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	155 0.94 %
7	2024_Савчин О.В._ИТ_ИТТС_АКСм-23-1 12/12/2024 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ИТТС)	127 0.77 %
8	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	91 0.55 %
9	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	88 0.54 %
10	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	66 0.40 %

з домашньої бази даних (2.03 %)



#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	2024_Савчин О.В._ИТ_ИТТС_АКСм-23-1 12/12/2024 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ИТТС)	289 (11) 1.76 %
2	2025_Челядин Б.Б._ФІТ_ИТТС_АКСм-24-1.doc 12/25/2025 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ИТТС)	45 (2) 0.27 %

з програми обміну базами даних (0.07 %)



#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
3	Сідорський_3012_НА ПРОВЕРКУ 6/5/2025 Ukrainian national aviation university (Криворізький Фаховий коледж)	11 (1) 0.07 %

з Інтернету (14.88 %)



#	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
4	https://www.adhmt.com/uk/how-does-a-laser-cutting-machine-work/	2084 (10) 12.67 %
5	https://laccei.org/LEIRD2022-VirtualEdition/full-papers/FP70.pdf	70 (2) 0.43 %
6	https://repo.nung.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a019d654-39cd-4162-a25f-5f66b1dbfb5e/content	51 (4) 0.31 %
7	https://repo.nung.edu.ua/bitstreams/4700b8fe-6839-4391-abd6-577d15ae42d7/download	37 (2) 0.23 %
8	https://iopscience.iop.org/volume/1757-899X/95	35 (2) 0.21 %
9	http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element/baztech-1d338aca-79cf-48ce-8e7a-387cc5d9fd07	24 (1) 0.15 %
10	https://dl.acm.org/doi/10.1145/3698038.3698544	24 (1) 0.15 %
11	http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/HomePageDorigo/publicationsbyyear.php?subitem=3&id=1373&bibtex=1	22 (2) 0.13 %
12	https://cyberleninka.ru/article/n/programming-for-modular-reconfigurable-robots	22 (1) 0.13 %
13	https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2020/gc/d0gc02745f?page=search	17 (1) 0.10 %
14	https://bibliotekanauki.pl/articles/104136.pdf	15 (1) 0.09 %
15	https://onaft.edu.ua/download/konfi/2020/Collection-of-abstracts-ITA-2020.pdf	14 (2) 0.09 %

16	https://repo.nung.edu.ua/bitstreams/4a5c4b45-6fc4-44a1-935b-bb8ed0d53efe/download	11 (1) 0.07 %
17	https://repo.nung.edu.ua/bitstreams/97868a8b-0b5a-43a6-a398-cc4ba768bef6/download	8 (1) 0.05 %
18	https://web.kpi.kharkov.ua/es/wp-content/uploads/sites/250/Zavdannia_YEAR_Name_N_P.docx	7 (1) 0.04 %
19	https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jiss/article/view/18264	6 (1) 0.04 %

Список прийнятих фрагментів

#	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
	2025_Челядин Б.Б._ФІТ_ІТТС_АКСм-24-1.doc	45 (0.27%)
1	Міністерство освіти і науки України Івано-Франківський національний технічний ...	22 (0.13%)
2	назва роботи) Комп'ютеризовані системи управління та автоматика (назва освітнь...	23 (0.14%)
	2024_Савчин О.В._ІІТ_ІТТС_АКСм-23-1	201 (1.22%)
1	прізвище, ім'я, по батькові) УДК 628.8 (індекс) МАГІСТЕРСЬКА	9 (0.05%)
2	підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)...	27 (0.16%)
3	Інформаційних технологій ...	38 (0.23%)
4	прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)Проведення аналізу...	127 (0.77%)
	https://repo.nung.edu.ua/server/api/core/bitstre...	14 (0.09%)
1	підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня) Науковий керівник в...	14 (0.09%)
	https://repo.nung.edu.ua/bitstreams/4700b8fe-683...	26 (0.16%)
1	посада) (підпис(дата(ініціали та прізвище) Робота містить результати...	26 (0.16%)
	https://repo.nung.edu.ua/bitstreams/97868a8b-0b5...	8 (0.05%)
1	Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	8 (0.05%)
	https://dl.acm.org/doi/10.1145/3698038.3698544	24 (0.15%)
1	E. Emilsson and L. Dahllöf, "Lithium-Ion Vehicle; battery production Status 2...	24 (0.15%)
	https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2020/...	17 (0.10%)
1	A. Das, D. Li, D. Williams and D. Greenwood, "Joining Technologies for Automot...	17 (0.10%)
	http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1....	24 (0.15%)
1	Castro,A.207-214	24 (0.15%)
	https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jiss/arti...	6 (0.04%)
1	Procedia Manufacturing, vol. 51, pp. 1379 1386 2020.	6 (0.04%)
	https://laccei.org/LEIRD2022-VirtualEdition/full...	70 (0.43%)
1	C. Rosa, F. J. G. Silva, L. p Ferreira and R. Campilho, " SMED methodology: T...	35 (0.21%)
2	M. Martins, R. godina C. Pimentel, F. J. G. Silva and J. C. ,godina,C.vol. 17...	35 (0.21%)
	https://iopscience.iop.org/volume/1757-899X/95	26 (0.16%)

1	Modular industrial robots as the tool of process automation in robotized manuf...	26 (0.16%)
	https://bibliotekanauki.pl/articles/104136.pdf	15 (0.09%)
1	A Novel Concept of Production and Assembly Processes Integration," Procedia Ma...	15 (0.09%)
	https://cyberleninka.ru/article/n/programming-fo...	22 (0.13%)
1	Fukuda T. Cellular robotic system (CEBOT) as one of the realization of self-or...	22 (0.13%)
	http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/HomePageDorigo/...	15 (0.09%)
1	F. Mondada and M. Dorigo, "Mergeable nervous systems for robots," Nature comm...	15 (0.09%)

2 **Міністерство освіти і науки України**
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Овчарик Роман Михайлович

1 **Прізвище, ім'я, по батькові)**

УДК 628.8

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення системи автоматичного керування лазерного різання і гравіювання

2 **(назва роботи)**

Комп'ютеризовані системи управління та автоматика

(назва освітньої програми)

174- Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

Р.М. Овчарик

6 **підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня) Науковий керівник** _____ **Паньків Юрій Володимирович, к.т.н.,**

доцент

1 **підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)**

Допущено до захисту Завідувач кафедри проф. Л.М. Заміховський (посада)

(підпис) (дата) (ініціали та прізвище) Рецензент

Л. (посада)

(підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ - 2025

17 **Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

Факультет 1 **інформаційних технологій**

Кафедра Інформаційно- телекомунікаційних технологій і систем

Освітній рівень "Магістр" Спеціальність 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедрою ІТТС, д.т.н., проф. _____ Л.М. Заміховський

« _____ » 2025 року **ЗАВДАННЯ на виконання магістерської роботи**

студентові

Овчарику Роману Михайловичу

6 **прізвище, ім'я, по батькові)**

1. **Тема роботи «Розроблення системи автоматичного керування лазерного різання і гравіювання»**

керівник роботи Паньків Юрій Володимирович, к.т.н., доцент каф. **ІТТС**

1 **прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)**

18 **затверджені наказом закладу вищої освіти від " _____ " 2025 року No} 2. Строк подання студентом роботи _____ грудень 2025 р. 3.**

Вихідні дані до роботи Технологічна схема процесу та опис технологічного процесу

6 **4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)**

Проведення аналізу технологічного процесу; Технічне проектування системи автоматичного керування; Програмне забезпечення та

Керівник _____ (підпис) Завдання прийняв до виконання _____ (підпис) КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН № _____ Назва етапів магістерської роботи Термін виконання етапів роботи Примітка

1 Вступ вересень 2025 року Виконано 2 Проведення аналізу технологічного процесу жовтень 2025 року Виконано 3 Технічне проектування системи автоматичного керування листопад 2025 року Виконано 4 Програмне забезпечення та моделювання системи автоматичного керування грудень 2025 року Виконано 5 Оформлення роботи грудень 2025 року Виконано Студент Овчарик Р.М.

(підпис) (прізвище та ініціали) Керівник роботи

Паньків Ю.В. (підпис) (прізвище та ініціали) РЕФЕРАТ Магістерська робота складається з 5 розділів, 84 рисунків та містить 12 таблиць, загальний обсяг магістерської роботи 110 сторінки, в роботі використано 57 літературних джерел. Тема магістерської роботи: Розроблення системи автоматичного керування лазерного різання і гравіювання.

1 Мета роботи: Розроблення системи автоматичного керування лазерного різання і гравіювання.

1 Об'єкт дослідження: процес керування лазерного різання і гравіювання.

1 Предмет дослідження: система автоматизації процесу лазерного різання і гравіювання.

1 Методи наукових досліджень: розробка, аналіз та моделювання системи автоматичного керування.

Результати магістерської роботи: У роботі розглянуто розроблення системи автоматичного керування лазерного різання і гравіювання. На основі аналізу технологічного процесу лазерної обробки матеріалів розроблено функціональну схему автоматизації та підбрано технічні засоби керування, зокрема особливості машини Double Croix. Для забезпечення роботи системи розроблено програмне забезпечення, що реалізує автоматичне керування режимами лазерного різання і гравіювання. Проведено моделювання системи автоматичного керування, визначено передавальну функцію об'єкта та параметри регулятора, які забезпечують необхідні показники якості процесу.

Ключові слова: автоматизація, система автоматичного керування, лазерне різання, лазерне гравіювання, лазерна обробка матеріалів, програмне забезпечення, моделювання системи. ABSTRACT The master's thesis consists of 6 chapters, 84 figures and contains 12 tables, the total volume of the master's thesis is 110 pages, 57 literary sources are used in the work. Master's thesis topic: Development of an automatic control system for laser cutting and engraving.

Purpose: Development of an automatic control system for laser cutting and engraving.

Object of research: laser cutting and engraving control process.

Subject of research: laser cutting and engraving process automation system.

Research methods: development, analysis and modeling of an automatic control system. Results of the master's thesis: development, analysis and modeling of an automatic control system. Results of the master's thesis: The work considers the development of an automatic control system for laser cutting and engraving. Based on the analysis of the technological process of laser processing of materials, a functional automation scheme has been developed and technical control means have been selected, in particular the features of the Double Croix machine. To ensure the operation of the system, software has been developed that implements automatic control of laser cutting and engraving modes. The automatic control system was simulated, the transfer function of the object and the controller parameters were determined, which provide the necessary process quality indicators. Keywords: automation, automatic control system, laser cutting, laser engraving, laser processing of materials, software, system modeling.

Зміст

1. Принцип лазерного різання 8
 - 1.1. Як працюють лазерні різачки 8
 - 1.2. Основні компоненти лазерного верстата для різання 10
 - 1.3. Передача та фокусування променя 12
 - 1.4. Процес лазерного різання 15
 - 1.5. Характеристики лазерного різання для різних матеріалів 19
 - 1.6. Техніки лазерного різання 21
2. Опис машини 23
 - 2.1. Майбутні застосування в машинах 24
 - 2.2. Варіанти 27
 - 2.3. Попередня специфікація продукту 28
 - 2.4. Подвійний перехід 30
 - 2.5. Single Croix 33
 - 2.6. Опції Single Croix 42
 3. Архітектура мережі 50
 - 3.1. Огляд Ethernet 52
 - 3.2. Огляд Profinet 54
 - 3.3. Проект порталу TIA 56
 - 3.5. Архітектура апаратного забезпечення та конфігурація пристроїв 61
 4. Огляд програмування PLC 67
 - 4.1. Модуль батарейного підсумка з гнучкою активністю 86
 - 4.2. Зварювання з'єднанням з'єднання 100
 5. Висновки 102
 - Використані джерела 106

Лазер (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - підсилення світла за допомогою стимульованого випромінювання) - це особливе джерело світла з такими унікальними характеристиками: - Висока енергетична щільність: Лазерний промінь концентрує енергію у дуже маленькій фокусній точці, створюючи достатньо тепла, щоб розплавити або випарувати матеріал. - Монохроматичність: Лазер містить лише одну довжину хвилі світла, що забезпечує високу концентрацію енергії та стабільність. - Спрямованість: Лазерний промінь поширюється у надзвичайно стабільному напрямку, що дозволяє передавати його на великі відстані з мінімальними втратами енергії. Порівняно зі звичайними джерелами світла, лазери мають вищу яскравість, сильнішу спрямованість і кращу когерентність, що робить їх ідеальними інструментами для промислових застосувань, таких як промислове різання та зварювання.

1. Як працюють лазерні різачи Як працює лазерне різання? Лазерне різання - це технологія, яка використовує лазер для випаровування матеріалів, утворюючи край зрізу. Процес лазерної обробки починається з джерела лазера (або генератора лазера), такого як CO₂, Nd:YAG або волоконний лазер, який генерує високофокусований промінь світла. Сфокусований лазерний промінь спрямовується на матеріал заготовки, де він поглинається і перетворюється на теплову енергію. Лазерне різання використовує світлову енергію, перетворену на теплову, щоб локально нагрівати та різати матеріали. Його основний робочий механізм включає такі аспекти:

Рисунок 1.1: Принцип лазера.

⁴ Принцип теплового ефекту Коли інтенсивний лазерний промінь опромінює поверхню матеріалу, його енергія поглинається і швидко перетворюється на теплову енергію, викликаючи такі фізичні зміни в матеріалі: - Плавлення: Матеріал плавиться, і струмінь газу під високим тиском здуває розплавлений матеріал, створюючи чистий розріз. - Випаровування: Матеріал безпосередньо переходить із твердого стану в газоподібний, що часто використовується для тонких матеріалів. - Горіння: У деяких випадках матеріали займаються і горять, особливо при подачі струменя кисню, який прискорює процес різання. Це поєднання сфокусованої енергії та точного контролю дозволяє лазерному різанню забезпечувати виняткові результати для широкого спектра застосувань.

- Процес перетворення енергії Фотони в лазерному промені несуть енергію, і коли вони взаємодіють із частинками на поверхні матеріалу, вони передають свою кінетичну енергію цим частинкам, викликаючи інтенсивні коливання, які, у свою чергу, генерують тепло. Цей процес швидко підвищує локальну температуру, досягаючи точки плавлення або випаровування матеріалу.

- Фізичні зміни під час процесу різання Під час процесу різання наступні фізичні явища працюють разом, щоб завершити обробку: - Локалізоване нагрівання та плавлення: Сфокусований лазерний промінь створює невелику ділянку з високою температурою на поверхні заготовки, змушуючи цю область швидко плавитися або випаровуватися. - Дія допоміжного газу: Кисень, азот або інертний газ подається через сопло, щоб вивудати розплавлений або випаруваний матеріал із різку, одночасно охолоджуючи заготовку та запобігаючи окисненню. - Формування різку: Коли лазерна головка рухається, зона високої температури безперервно плавить або видаляє матеріал уздовж траєкторії, таким чином утворюючи точний різ.

2. Основні компоненти лазерного верстата для різання Лазерні верстати для різання складаються з кількох критично важливих компонентів, які працюють разом для досягнення точного та ефективного різання. Нижче наведено детальний опис цих компонентів і їхніх функцій. 1. Лазерне джерело Джерело лазера є ядром машини, що генерує лазерний промінь, який використовується для різання. Різні типи лазерів, що застосовуються в лазерному різанні, мають унікальні принципи роботи, переваги та недоліки: 1. CO₂-лазер - Принцип: Використовує газову суміш (CO₂, N₂, He) як активне середовище. Збуджені молекули CO₂ випромінюють інфрачервоне світло з довжиною хвилі 10,6 мкм. - Переваги: Висока вихідна потужність (до 15 кВт), придатна для неметалів і тонких металів. Низька вартість на ват і тривалий термін служби (до 20 000 годин). - Недоліки: Потребує системи охолодження через утворення тепла. Нижча ефективність (10-20%) порівняно з волоконними лазерами. Рисунок 1.2: Ключові компоненти.

⁴ 2. Волоконний лазер

- Принцип:

Використовує леговане оптичне волокно як активне середовище. Випромінює світло на довжині хвилі 1,06 мкм.

- Переваги:

Висока ефективність (30%-35%) і низькі вимоги до обслуговування. Вища швидкість різання, особливо для тонких металів.

- Недоліки:

Вища початкова вартість порівняно з CO₂-лазерами.

3. Лазер Nd:YAG

Принцип: Використовує кристал гранату ітрію-алюмінію, легований неодимом, як активне середовище. Працює на довжині хвилі 1,06 мкм.

Переваги:

Підходить для високоточного мікрооброблення та відбивних матеріалів, таких як алюміній і мідь.

Недоліки:

Низька ефективність (1%-4%) і повільніша обробка товстих матеріалів.

⁴ 3. Передача та фокусування променя Лазерний промінь має бути переданий від джерела до заготовки з мінімальними втратами енергії та точно сфокусований у зоні різання. 1. Шлях передачі променя

5. Лазери CO₂ використовують дзеркала для спрямування променя, тоді як волоконні лазери покладаються на гнучкі оптичні волокна для легшої інтеграції. 2. Оптика фокусування

6. Лінзи та дзеркала: Фокусують лазерний промінь у маленьку точку з високою щільністю енергії, забезпечуючи точне різання.

7. Важливість вирівнювання: Неправильне вирівнювання може призвести до низької якості різку або пошкодження компонентів.

1. Система керування Система керування забезпечує точну роботу, керуючи рухом, потужністю та параметрами різання.

Рисунок 1.3: Система керування.

⁴ 1. Система ЧПК

1. Перетворює проекти CAD/CAM у G-код для виконання машиною.

2. Керує рухом ріжучої головки з високою точністю. 2. Система сервокерування

3. Використовує сервомотори для точного позиціонування та плавного руху під час операцій різання.

2. Ріжуча головка та сопло Ріжуча головка містить фокусувальну лінзу та сопло, які відіграють вирішальну роль у спрямуванні лазерного променя та допоміжного газу. 1. Функції сопла:

1. Спрямує допоміжний газ (кисень, азот) для видалення розплавленого матеріалу з траєкторії різання.

2. Запобігає забрудненню оптичних компонентів уламками. 2. Типи соплел:

3. Одношарові сопла для інертних газів, таких як азот.

4. Подвійні сопла для високошвидкісного різання з подачею кисню.

3. Панель керування/Програмне забезпечення

1. Оператори взаємодіють із машиною через програмне забезпечення керування, яке забезпечує введення дизайну, налаштування параметрів і моніторинг у реальному часі.

2. Прикладами є програмне забезпечення CAM для створення траєкторій інструменту та власне програмне забезпечення керування для ефективного виконання різання.

4. Допоміжні системи 1. Система охолодження - Підтримує стабільну робочу температуру джерела лазера та оптики, запобігаючи термічним пошкодженням. 2. Система витяжки - Видаляє пари, дим і відходи, що утворюються під час різання, для забезпечення безпеки та підтримання якості різання. 3. Допоміжні гази - Кисень: Прискорює процес різання, сприяючи горінню (використовується для різання вуглецевої сталі). - Азот: Запобігає окисненню для отримання високоякісної поверхні (використовується для нержавіючої сталі). - Повітря: Економічний варіант для базових застосувань.

- Процес лазерного різання 1. Крок 1 Підготовка дизайну та програмування 1. Використання програмного забезпечення CAD/CAM - CAD (Computer-Aided Design): Створюйте детальні 2D або 3D моделі за допомогою програм, таких як SolidWorks, AutoCAD або Fusion 360. Ці інструменти дозволяють конструкторам задавати властивості матеріалу та забезпечувати точність розмірів. - CAM (Computer-Aided Manufacturing): Імпортуйте файли CAD у програмне забезпечення CAM, щоб визначити параметри різання, такі як швидкість, потужність лазера та траєкторія. Програмне забезпечення CAM потім генерує траєкторії інструменту, оптимізовані для матеріалу та вимог різання. 2. Перетворення у G-код Програмне забезпечення CAM перетворює траєкторії інструментів у G-код - мову програмування, яку розуміють верстати з ЧПК. G-код керує рухом ріжучої головки та лазерного променя вздовж осей X, Y і Z. Надішліть цей G-код до контролера лазерного різача через Wi-Fi-з'єднання або USB- накопичувач. Після етапу проєктування наступним кроком є встановлення оптимальних параметрів для процесу. 2. Крок 2 Налаштування верстата

Рисунок 1.4. ⁴Налаштування верстата.

Помістіть матеріали, які потрібно різати, у лазерний різак і відрегулюйте їхнє розташування відповідно до типу та товщини матеріалу. Це налаштування включає потужність лазера, швидкість руху лазера та фокусування лазерного променя.

Найкращі оптимальні параметри залежать від моделі лазерного різача та типів матеріалів, що обробляються.

3. Крок 3 Процес різання та гравіювання

Після налаштування всіх параметрів і запуску роботи можна починати різання та гравіювання. Усе починається з лазерного джерела, яке генерує стабільне та потужне світло.

Лазерне джерело походить із лазерного резонатора, який надсилає потужний промінь до ріжучої головки через систему дзеркал. Усередині ріжучої головки лазер фокусується лінзою та зводиться до тонкого, концентрованого променя.

Цей промінь можна спрямовувати по матеріалу вздовж заданої цифрової траєкторії, щоб різати або гравіювати сировину. До речі, якщо ви коли-небудь використовували сонячне світло та збільшувальне скло, щоб запалити вогонь, то принцип роботи вам буде знайомий.

Коли промінь рухається вздовж траєкторії, він плавить, спалює або випаровує матеріал, забезпечуючи точне різання та гравіювання.

Рисунок 1.5: Приклад роботи лазера.

Лазерний різак також ⁴ може видувати надлишковий матеріал за допомогою струменя газу. Ріжуча головка зазвичай закріплена на порталі, який є механічною системою. Ця система зазвичай приводиться в рух ремнем або ланцюгом і дозволяє ріжучій головці точно переміщатися у визначеній прямокутній області (розмір робочого столу). Портал дозволяє ріжучій головці рухатися вперед і назад по заготовці, щоб точно різати в будь-якому місці на столі. Лазер повинен бути сфокусований на матеріалі, що різеться, щоб досягти найкращого стану різання. Усі лазерні різачи повинні виконати фокусування перед різанням, щоб забезпечити відмінний результат. Окрім функцій самого лазера, лазерний різак також оснащений допоміжним газом. Цей газ подається з ріжучої головки під час процесу різання та допомагає охолоджувати матеріали й очищати розплавлений метал. У результаті лазерний різак не лише забезпечує точне різання, але й підтримує поверхню зрізу чистою та гладкою. 4. Крок

4 Після різальні процеси та інспекція 1. Перевірка контролю якості

1. Перевірте краї зрізу на шорсткість, вертикальність, задирки та точність розмірів за допомогою інструментів, таких як штангенциркуль або верстат для видалення задирок. 2. Етапи після обробки

2. Зняття задирок: Видалити гострі краї або нерівності за допомогою шліфувальних чи шліфувальних інструментів.

3. Обробка поверхні: Нанести полірування, анодування або фарбування для покращення зовнішнього вигляду чи запобігання корозії. 3. Остаточна перевірка

4. Виміряти кожну деталь відповідно до конструкторських специфікацій, щоб забезпечити узгодженість і якість перед пакуванням або складанням.

- Характеристики лазерного різання для різних матеріалів Лазерне різання забезпечує універсальність і точність для широкого спектра матеріалів, включаючи метали та неметали. Нижче наведено детальний огляд характеристик, налаштувань лазера та особливостей для кожної категорії. 1. Металеві матеріали 1. Застосовувані типи лазерів і потужність - CO2 лазер: Підходить для тонких металевих листів, але потребує допоміжних газів для ефективного різання. - Волоконний лазер: Ідеально підходить для металів, особливо високо відбивних, таких як алюміній і мідь, завдяки коротшій довжині хвилі (1,06 мкм) та високій ефективності. - Лазер Nd:YAG: Використовується для прецизійної мікро обробки металів, але менш поширений у промислового масштабу різання. Рекомендовані налаштування потужності залежать від товщини матеріалу: Товщина матеріалу Діапазон потужності (ват) Тонкі листи (до 1 мм) 500-1000 Середня товщина (1-5 мм) 1000-2000 Товсті матеріали (понад 5 мм) 2000-4000 2. Основні параметри різання - Потужність: Для товстіших матеріалів необхідна більша потужність, щоб забезпечити проникнення. -

Швидкість: Для товстіших металів потрібні нижчі швидкості, щоб зберегти якість краю. - Допоміжний газ: Кисень прискорює різання через окиснення (використовується для вуглецевої сталі). Азот запобігає окисненню та забезпечує чисті краї (використовується для нержавіючої сталі).

4.2. Неметалеві матеріали

1. Характеристики

Неметалеві матеріали мають унікальні властивості, що робить їх придатними для різних застосувань:

- Деревина: Чисті зрізи з мінімальним підгорянням; ідеально підходять для меблів та виробів ручної роботи.
- Акрил: Гладкі краї та висока точність; широко використовується у вивісках та декоративних елементах.
- Тканина/Текстиль: Зрізи без розпускання ниток; підходить для промислових та художніх дизайнів.
- Папір/Картон: Точні зрізи без ризику займання при оптимальних налаштуваннях.

4. Товщина матеріалу проти якості різання

- Тонші матеріали дозволяють використовувати більшу швидкість і забезпечують чистіший зріз завдяки зменшенню теплового впливу.
- Товсті матеріали потребують меншої швидкості та більшої потужності, щоб забезпечити повне проникнення без деформації чи підгоряння.

Рисунок 1.6: Графік товщин.

4. Техніки лазерного різання

Лазерне різання металів має перевагу над плазмовим різанням завдяки більшій точності. Коли потужний лазер контактує з матеріалом, він створює тепло, яке плавить або випаровує поверхню. Залежно від типу допоміжного газу існує чотири основні типи технік лазерного різання:

1. Різання плавленням

Під час різання плавленням допоміжний газ не бере участі в процесі плавлення матеріалу, а діє лише після того, як лазер розплавив матеріал. Інертний газ (азот) зазвичай використовується як допоміжний газ для різання.

Газ під тиском видуває розплавлений метал із прорізу, збільшуючи швидкість різання та зменшуючи потужність лазера, необхідну для різання матеріалу. Різання плавленням застосовується для різання металу. Цю техніку також називають різанням плавленням і видуванням.

2. Полум'яне різання

Допоміжний газ (кисень) бере участь у процесі горіння та плавлення матеріалу під час полум'яного різання. Лазерний промінь нагріває матеріал, і кисень реагує з нагрітим матеріалом, утворюючи полум'я. Це збільшує енергетичний вплив на матеріал і допомагає лазерному променю ефективніше різати.

Одночасно використовується потік кисню під високим тиском для видування розплавленого металу, таким чином здійснюючи різання. Полум'яне різання зазвичай застосовується для товстих матеріалів із вуглецевої сталі. Через реакцію між киснем і нагрітим матеріалом цю техніку також називають реактивним різанням.

3. Сублімаційне різання

Сублімаційне різання застосовується для тонких матеріалів (таких як фольга та тканини), коли різання проводиться без допоміжного газу. У цьому методі лазерний промінь випаровує матеріал безпосередньо, а не плавить його.

Висока енергія може випаровувати матеріал у точці фокусування, утворюючи вузький зріз. Такий тип різання також називають різанням випаровуванням.

4. Імпульсне різання

Імпульсне різання застосовується для матеріалів, які важко різати безперервним лазерним променем. Воно передбачає використання швидкого імпульсного лазерного променя на поверхні матеріалу для утворення перекирваних отворів.

Імпульсне різання зазвичай застосовується для крихких матеріалів, таких як кераміка та скло. Вибір типу лазера залежить від конкретного застосування та матеріалу. Наприклад, лазер CO₂ зазвичай використовується для різання різних матеріалів, а волоконний лазер - переважно для металу.

Лазерна різальна машина використовує синергічний ефект потужного лазерного променя та допоміжного газу для досягнення точного й високоєфективного різання металевих матеріалів.

Отримання навчання та знань при роботі з лазерною різальною машиною є життєво важливим. Наприклад, носіння захисних окулярів, уникнення прямого контакту очей із лазерним променем і забезпечення хорошої вентиляції. Таким чином можна досягти безпеки та найкращих результатів. Крім того, машина потребує регулярного технічного обслуговування для підтримання ефективної роботи.

Рисунок 1.7: Лазерний верстат.

2. Опис машини

Як згадувалося у вступі, метою роботи є розробка промислового декартового робота для електрифікації транспортних засобів. Досліджувана машина є унікальною завдяки своїм специфічним технічним характеристикам і гнучкості, яку необхідно досягти для задоволення потреб клієнтів у керуванні різними типами акумуляторних модулів (циліндричних, сумкових або призматичних) для електромобілів. Виробництво цього виробу зумовлено великим досвідом інженерів Комау у сфері керування ЧПУ та необхідністю об'єднання різних станцій конвеєра для батарейних модулів. Деякі переваги декартової конструкції полягають у спрощенні вимог безпеки та отриманні більш компактного рішення, яке можна зібрати та ввести в експлуатацію в Комау, а потім відправити стандартним транспортом. Цей механізм гарантує наявність індивідуально створеної машини, готової та налаштованої для відповіді на розвиток ринку як у секторі електромобілів, так і загалом у будь-якому секторі, який вимагає:

1. Зварювання
2. Різання

3. Буріння

4. Термічна обробка

2.1 Майбутні застосування в машинах

Наразі машина розроблена лише для застосування у зварюванні батарей, але планується так, щоб у майбутньому можна було розширити свої завдання, зберігаючи базову конструкцію конструкції та додаючи нові додаткові групи компонентів. Справді, інструмент лазерної головки, який вивчався для цієї першої реалізації машини (Розділ 3.3), розглядається лише як опція, а не як невід'ємна частина базової конструкції. Деякі важливі процеси, пов'язані з виробництвом потужних електродвигунів для електромобільності, такі як шпилькове зварювання та ламелярне статорне зварювання (рис. 24), можуть бути виконані в майбутньому розвитку машини. У будівництві статорів переважно домінував метод шпилькового зварювання, він полягає в будовуванні прямокутних мідних стрижнів як «шпильками» (через їхню форму), у всю канавку статора замість намотування мідного дроту на окремі вирізи, як це часто було раніше. Оскільки шпильки жорсткіші за круглі, їх вирівнювання в моторі можна краще контролювати.

Статор - це нерухома частина обертової системи, що використовується в електрогенераторах і електродвигунах; Вона складається з різних частин, таких як рама статора, сердечник і обмотки. Зварювання ламелярним статором - це процес, необхідний для створення сердечника статора через стопку круглих попередньо пробитих ламінацій, приварених зовні та втиснутих у каркас.

Ламінації по суті круглі з круглим отвором всередині, через який розташований ротор.

Рисунок 2.1: Мотор шпильки (ліворуч) і статор із власними ламінаціями (ПРАВОРУЧ).

Лазерна термічна обробка (рис. 25) активного матеріалу для літій-іонних елементів може застосовуватися для тонких і товстих літійових електродів. Змінюючи лазерну головку, машина може виконувати лазерне відпалювання та сушіння електродів. Оскільки тонкоплівковий матеріал, що відкладається як насаджений, загалом не має належної кристалічної фази батареї та хімічного складу, швидке лазерне відпалювання може замінити довготривалі традиційні надмірні процеси для налаштування властивостей матеріалу. Перед складуванням комірки та процесами заповнення електролітами використовується лазерний процес сушіння для видалення води та розчинника, які діють як критичне забруднення

Рисунок 2.2: Лазерна термічна обробка

Плазмова обробка, показана на рисунку 26, - це це один процес, який можна здійснити за допомогою нашої машини шляхом зміни робочої головки; це один із найефективніших процесів обробки поверхні для активації, очищення або покриття матеріалів, таких як метал, скло та пластик. Обробка, наприклад, використовується на заводі з виробництва акумуляторів BMW i8 для очищення поверхні та збільшення енергії поверхні з метою створення міцнішого зв'язку з клеєм.

Рисунок 2.3: Плазмова обробка електронних пристроїв (ліворуч) та вуглецеве волокно (ПРАВОРУЧ).

Ще дві конфігурації, які в майбутньому можна припустити за допомогою цієї системи Комау, - це лазерне різання та облицювання (рис. 27). Лазерне різання працює шляхом спрямування потужного лазера через оптику. Сфокусований лазерний промінь спрямований на матеріал, який потім або плавиться, або горить, або випаровується, або зникає. Облицювання - це, загалом, нанесення одного матеріалу поверх іншого для створення шкіри або шару металургійного сектору процесу облицювання ідентифікується як технологія накладання відкладення, яка використовує потужний промисловий лазер для плавлення матеріалів на підкладці, створюючи накладку з справжнім металургійним зв'язуванням.

Рисунок 2.4: Лазерне різання (ліворуч) та облицювання (праворуч).

2.2 Варіанти

Реалізація проєкту передбачає розробку двох різних версій машини для виведення на ринок: так званих систем Single Croix і Double Croix. Кожен варіант системи має базову конфігурацію, до якої можна додати додаткові групи компонентів для отримання більш складної структури з кількома функціями. Базова архітектура включає шасі та частину приводного механізму. Шасі складається з нерухомих компонентів (базових і вертикальних) та рухомих (рейки, опори), а призначення

- міцно закріпити машину на землі та передати робочі сили. Мета рухової системи - перетворювати електричну, гідравлічну та пневматичну енергію на механічну енергію. Можна розрізнити основну рушійну систему, яка створює пов'язаний рух, наприклад, між інструментом і заготовкою, і допоміжну систему приводу, яка здійснює рух позиціонування, як транспортування заготовки або його заміну.

Наразі для будь-якого варіанту розроблено лише п'ять груп додаткових елементів, описаних у розділі 3.3., але, як ми вже зазначали, їх кількість може зростати в майбутній конфігурації машини.

Обидві конфігурації машини розташовані всередині лазерної комірки, також званої коробкою, яка має специфічні розміри для кожної версії та забезпечує ізоляцію робочого середовища. Опис коробки з роботом та іншими елементами, що підтримують машину, буде розглянуто у четвертому розділі.

Вибір розділення проєкту на дві версії однієї машини є способом досягти гнучкості, щоб клієнти могли обрати між менш об'ємним рішенням або більш продуктивним одним із тих самих продуктів, якщо це бажано. Конфігурація Single Croix має класичний аспект лазерного зварювального апарата, що підходить для більшості випадків, розрахований на менші батареї, зазвичай циліндричні або призматичні акумуляторні блоки, а також для простіших варварних швів. Машина Double Croix має більші розміри та більш розвинену механічну структуру, призначену для роботи з більшими акумуляторними модулями, зазвичай з пакетними елементами, а також для створення складніших зварювальних процедур. Ця друга складна система розроблена для реалізації можливості об'єднання різних станцій стандартної батарейної лінії в одному пристрої. У наступних розділах у розгляду два різні варіанти системи, зосереджуючись на конфігурації Double Croix, яка є найцікавішою для спостереження об'єкта модульності. Більше того, більшим рішенням є те, що було спочатку розроблено, а конфігурація Single Croix була досягнута пізніше шляхом

простого видалення елементів з Double Croix.

2.3 Попередня специфікація продукту

Після визначення типу продукту та його призначення першим кроком було вивчення продуктивності, які має забезпечувати машина. Команда механічних інженерів розрахувала деякі попередні характеристики, які машина повинна гарантувати, базуючись на зібраних даних про минулі зварювальні роботи та типові характеристики акумулятора.

X Y Z

Діапазон руху осей 1500 мм 800 мм 500 мм

Максимальні швидкості осей 100 м/хв, осьово паралельне в X 85 м/хв, одночасно 100 м/хв 90 м/хв, осьово паралельне в Z 85 м/хв, одночасно

Максимум Прискорення осей 10 м/с², осьово паралельне в X 17 м/с², одночасно 10 м/с² 10 м/с², осьово паралельне в X 17 м/с², одночасно

Позиціонування Точність ± 0,1 мм ± 0,1 мм ± 0,1 мм

Таблиця 1.1: Попередня специфікація продукту для систем Double і Single Croix.

Діапазон ходу осей вказує на максимальний робочий об'єм на кожній осі і пов'язаний із більшими розмірами батареї, з якими може працювати пристрій. Однією з сильних сторін системи, як видно з таблиці 1, є можливість роботи з батарейними модулями, більшими за середні, до розмірів 1500x800x500 мм, але достатньо меншими, щоб машина залишалася компактною, що дозволяло легко транспортувати. Максимальні швидкості та прискорення осей були розраховані, починаючи з вивчення різних циклів зварювання, і, дивлячись на таблицю, ми вже можемо помітити, що рухи осей X і Z пов'язані між собою.

Точність позиціонування - це похибка у оціненому положенні заготовки, пов'язана з справжньою. Неправильне вирівнювання заготовки має бути якомога меншим, оскільки лазерне зварювання - дуже чутливий процес і потребує точності, крім того, деякі батарейні модулі можуть бути невеликими і вимагати більшої точності. Точність положення є результатом конкатенації помилок на батарейних модулях, що включає помилки осей, що складають машину, позиціонування піддона, що транспортує заготовку, та розташування батарейного модуля на піддоні.

2.4 Подвійний перехід

Система Double Croix складається з двох пар осей порталів у напрямках X і Z та додаткових осей (від однієї до трьох) на Y, де розташована головка інструменту та інші додаткові елементи.

Графічні зображення, реалізовані за допомогою програмного забезпечення SolidWorks, можна побачити на рисунку 28, що показує механічний дизайн машини та підкреслює її орієнтацію в просторі.

Рисунок 2.5: Представлення системи Double Croix.

Оскільки лазерна головка інструменту розглядається як частина певної опціональної групи елементів, як ми вже пояснювали, базова конфігурація складається лише з пар осей X і Z та шасі. Ми можемо спостерігати конвенцію осей на рисунку 29.

Загальні встановлені розміри машини становлять близько 2830x3040x2580 мм.

Рисунок 2.6: Представлення осей системи подвійного Круа.

Пара осей, що рухаються у вертикальному напрямку паралельно колонкам, - це ті, що використовуються для керування головою інструменту, що все більше віддаляється від заготовки, тому їх зазвичай називають осями Z- порталу. Перпендикулярно до двох осей Z, що йдуть у напрямку руху заготовки, розташовані ще дві осі порталу, які ідентифікуються як X-осі через загальну конвенцію на верстатах з ЧПУ.

Рисунок 2.7: Ball rail table ТКК (ліворуч) представлення однієї осі (ПРАВОРУЧ) [36].

Лінійні системи Боша

X Y Z

Компактний Компактний Шаровий

модуль модуль рейковий стіл

L=1975,00 L=1140,00 L=1180,00 мм,

мм, мм BASA=40x10мм

BASA=32x32 мм

Вісь: Вісь: Вісь:

Таблиця 1.2: Опис лінійної системи Боша та представлення осей

(1=Лінійна система, 2=Зчеплення, 3=мотор).

Хоча Bosch був обраний для забезпечення механічних компонентів для осей, оскільки характеристики їхніх продуктів краще відповідають попереднім вимогам машини, вибір щодо приводної системи лежав на продукції Siemens.

Синхронні двигуни Siemens

Особливості X Y Z

Влада 2,10 кВт 0,63 кВт 2,10 кВт

Висота ствола (АН) 63 мм 36 мм 63 мм

Номинальна швидкість (100K) 2000 об/хв 6000 об/хв 2000 об/хв

Гальма утримання HI HI TAK

Таблиця 1.3: Основні характеристики сервомоторів Siemens SIMOTICS

ДЛЯ КОЖНОЇ ОСІ.

Siemens Drives

Особливості X Y (1) Y (2) Z

Класифікація Подвійний мотор Модуль Одномоторний двигун Модуль Подвійний мотор Модуль Подвійний мотор Модуль

Номинальний струм IN 2x 5.00 A 3.00 A 2x 3.00 A 2x 5.00 A

Power (IN) 2x 2,7 кВт 1,6 кВт 2x 1,6 кВт 2x 2,7 кВт

Моторне гальмо Зв'язок DC 24 V, 2 A DC 24 V, 2 A DC 24 V, 2 A DC 24 V, 2 A

Таблиця 1.4: Двигун Siemens SINAMICS керує основними елементами кожної осі.

2.5 Single Croix

Система Single Croix (рис. 32) має таку ж структуру, як і система Double Croix, але лише з однією колоною та основою. Дві пари осей порталів там більше не існують, лише одна вісь X і одна вісь Z становлять основну структуру машини. Загальні розміри конструкції разом із лазерною коміркою становлять 2830x2300x2700 мм, що робить її легше портативною, ніж Double Croix. Його компактний розмір робить його придатним для більш базових застосувань, а

його перевага полягає в тому, що вся каюта може бути повністю зібрана і завантажена на вантажівку для транспортування.

Орієнтація не змінена, а осі визначені за тією ж конвенцією системи Double Croix: вісь Z - вертикальна, X - горизонтальна, а головка інструменту розташована на осі Y, відповідно до опцій.

Рисунок 2.8: Зображення Single Croix.

Осі, рейки та двигуни однакові, як і для варіанту Double Croix, розробленого Bosch і Siemens відповідно, оскільки продуктивність для обох версій продукту однакова.

Опції Double Croix

П'ять наборів компонентів, які можна інтегрувати в систему при конфігурації як варіант Double Croix, наведені на рисунку 33 і детально описані далі.

Рисунок 2.9: Варіанти Double Croix.

1. ЛАЗЕРНЕ ОБЛАДНАННЯ

Група лазерного обладнання дозволяє налаштувати машину для дистанційного лазерного зварювання, включаючи весь оптичний ланцюг і корпус лазера. До цієї групи належать оптична зварювальна головка, джерело волоконного лазера, вимірвач потужності та система контролю зору.

Одна вісь Y, включаючи синхронний двигун і мобільний контактний контакт, додається до базової структури машини на порталі, а на ній розміщується система передачі лазерної оптики (рис. 34).

Рисунок 2.10: Лазерна оптика розташована на осі доданої Y.

Лазер генерується Comau LHYTE 2.0 [39], аббревіатурою від Laser HYbrid TEchnology, інноваційним багатофункціональним лазерним джерелом, створеним для підвищення гнучкості та зниження загальної вартості володіння. Особливість, яка робить його унікальним продуктом на ринку, це можливість чергувати роботу у двох різних режимах (рис. 35):

1. Прямий діодний лазер (6 кВт - BPP 66)

2. Волоконний лазер (4 кВт - BPP 4)

(A) (B) (C) РИСУНОК 2.11: P-RIMES PMM (A), FM+ (B) ТА BCS (C) ВИМІРЮВАЧІ ПОТУЖНОСТІ.

Додаткова група елементів лазерного обладнання також потребує системи контролю зору, що дозволяє візуалізувати внутрішню частину робочої комірки під час обробки та перевіряти наявність проблем. Для цієї мети було надано камеру Comelit IP Bullet групи, розташовану на стіні в лазерну комірку, так, щоб обрамляти робочу зону, як видно на рисунку 37.

Камера інтегрована з монітором для налаштування та NVR для запису відео.

Оператор може спостерігати за стрічками на HMI або іншому зовнішньому моніторі та втручатися у разі виникнення проблем, оглядаючи процес ззовні салону.

Рисунок 2.12: Камера Comelit монітор і архітектура NVR (ліворуч), РОЗТАШОВАНІ В СЕРЕДИНІ САЛОНУ (ПРАВОРУЧ).

1. ОБЕРТОВІ ОСІ

Елементи групи обертових осей дають змогу зварювати в різних напрямках, що дозволяє машині здійснювати обертальні рухи.

У систему включено два ротаційні актуатори (рис. 38) з відповідним адаптером двигуна, які дозволяють обертати портал по осі Y та обертати інструмент головки OPI по осі Z. Використані актуатори були поставлені компанією Zimmer і входять до серії DES [43]: DES 140 для рухів головки та DES 190 для обертання порталу, їхні основні характеристики наведені в Таблиці 5.

Знову ж таки, підключені двигуни - це синхронні двигуни Siemens, деталі яких наведені в Таблиці 6.

Синхронні двигуни Siemens Siemens Drives

Особливості DES 140 DES 190 Особливості Обидва

Влада 0,10 кВт 0,38 кВт; Класифікація Подвійний мотор Модуль

Висота ствола (АН) 20 мм 28 мм Номинальний струм IN 2x3,00 A

Статичний крутний момент (100K) 0,35 Nm 0,85 Nm Power (IN) 2x1,6 кВт
Номінальна швидкість (100K) 6000 об/хв 6000 об/хв Моторне гальмо Зв'язок DC 24 V, 2 A

Таблиця 6: Siemens SIMOTICS Servomotors і SINAMICS керують основними функціями кожного з них

Актuator кімнати.

Щоб дозволити обертання порталу, необхідно ввести два нові обертові контактні контакти, по одному з кожного боку конструкції (рис. 39), аж до перетину осей Y та Z, щоб усі кабелі, які мають йти до порталу, тепер мають проходити через ці нові лотки.

Рисунок 2.13: Конфігурація Solidworks Double Croix з додатковими роторними контактними контактами

2. ПЕРЕВІРКА ЯКОСТІ

Перевірка якості, як впливає з назви, після складання гарантує можливість перевірити якість зварювання та виявити несправності. Це можна зробити за допомогою двох різних систем контролю зору, кожна з яких відповідає за певний аспект обробки.

Перша система зору - це та, що перевіряє температуру заготовки під час обробки, що є необхідним для підтримки явища термічного відходу, поясненого у версії 2.2.1. Підрозділ під контролем. Система складається з двох термокамер, поставлених компанією Flir і визначених під назвою продукту AX8 (рис. 41) [44], які встановлюються на двох нових Y-осях порталу, закріплених у напрямку заготовки з полем зору (FOV) 48o x 37o, тобто на відстані 1 метр кожна камера покриває площу 837 мм x 645 мм. Це компактні та міцні камери, розташовані так, щоб кадрувати максимальну можливу площу заготовки для виявлення глобальної та локальної температури матеріалу, подаючи сигнал тривоги якщо вона перетинає певний поріг встановлений дизайнером або погоджений із замовником. Наприклад, поріг 80oC може бути встановлений, тож при його перевищенні перша тривога повідомляє оператору про те, що температура, при якому, як правило, спрацьовує перший тепловий блок батареї, досягнута, і він може діяти відповідно. На кожній камері можна встановити до п'яти сигналізаторів, які можна підключити до системи спринклера або системи викиду заготовок за запитом клієнта, що додає додаткові витрати.

Рисунок 2.14: Термокамера Flir AX8 (ліворуч) камера Flir A35 (праворуч).

Рисунок 2.15: Розташування двох камер Flir A35 для лазерного зварювання.

Обидві камери надсилають відео з інформацією про стан зварювання до Cassandra - це розподілена, нереляційна (NoSQL) та відкрита система управління з відкритим кодом, яка обробляє великі обсяги даних на багатьох стандартних серверах, забезпечуючи високу доступність без єдиної точки відмови.

Рисунок 2.16: Схема робочої системи Кассандри.

Функції системи Cassandra керуються власною шафою Cassandra, з якої надходять сигнальні кабелі для камер, а силові кабелі надходять від електричної стійки загальної машини.

Щоб уникнути плутанини, на борту машини розташований перемикач (рис. 44) біля основи однієї колонки для підключення проводки двох камер перед входом у контактні мережі.

Рисунок 2.17: Перемикач кабелів.

1. ЗГИНАННЯ І УТРИМАННЯ

Деякі типи батарейних елементів потрібно попередньо обробляти за допомогою спеціальної процедури, яка називається згинання язичок перед зварюванням. Зазвичай це відбувається на іншій станції на лінії збірки батарей і полягає у складанні язичок батарей (зазвичай комірок підсумків), щоб їх зручно розташовувати для подальшого зварювання. Вкладка акумулятора це місток, який з'єднує електрод із зовнішнім акумуляторним ланцюгом і через який струм проходить під час процесу зарядження/розряду. У літій-іонних батареях вони виготовляються з металевих фольг, прикріплених до позитивних і негативних електродів, і їхня конструкція та виробництво суттєво впливають на продуктивність батареї.

Рисунок 2.18: Процедура згинання язичок.

2. FLY ROLLER

Додатковий пристрій fly roller дозволяє розміщувати різні типи батарей у лазерну комірку. Він складається з ролика довжиною щонайменше 4 м, що дорівнює бічній довжині комірки, на який розміщується палета для транспортування заготовки всередині та зовні комірки, як видно на рисунку 47 і 48.

Робоча швидкість катка становить 12 м/хв, максимальна швидкість викиду - 40 м/хв, лише в екстремних випадках.


Завантаження та розвантаження заготовки через піддон можуть здійснюватися вручну працівником або автоматично, поза лазерною коміркою.

Рисунок 2.19: Зображення Fly Roller.

Рисунок 2.20: Вигляд мухового ролика всередині лазерної комірки.

2.6 Опції Single Croix

Варіант Single Croix також пропонує п'ять варіантів, зазначених на рисунку 49, які можуть бути включені до системи. Деякі опційні компоненти такі ж або трохи відрізняються від конфігурації Double Croix, як-от лазерне обладнання, перевірка якості та обертові групи осей, а також додано дві нові опції.

Рама Single Croix представляє собою полицю - механічний каркас, на якому лежать лінійні осі Y, з тією ж функцією, що й портал, описаний для системи Double Croix. Додаткові Y-осі можуть бути від однієї до трьох, як  попередній конфігурації, а їх введення в систему може здійснюватися шляхом додавання трьох різних варіантів.

Ще однією відмінністю від варіантів Double Croix є розробка іншого типу системи завантаження/розвантаження та позиціонування заготовки, яка є альтернативою опції fly roller, яка завжди доступна для конфігурації Single Croix.

3. ЛІНІЙНІ ОСІ

Ця опція дозволяє мати декартового компактного робота з трьома осями (рис. 50) без інструментів, щоб клієнт міг вільно обирати застосування машини.

Таким чином, продукт більше не прив'язаний лише до застосування лазерного зварювання, а кінцевий клієнт може розподілити його на інші цілі, такі як різання або обробка матеріалів. Вісь має довжину 400 мм і оснащена синхронним двигуном, кабелями та мобільною контактною мережею.

Рисунок 2.21: Одна вісь  додана до системи Single Croix.

4. ЛАЗЕРНЕ ОБЛАДНАННЯ, ПЕРЕВІРКА ЯКОСТІ та ОБЕРТОВІ ОСІ

Групи лазерного обладнання, перевірки якості та обертових осей майже ідентичні відповідним у конфігурації Double Croix.

Для лазерного обладнання та варіантів перевірки якості осі Y, додані до конструкції на валі, коротші, ніж у Double Croix, і мають довжину 400 мм, показані на рисунку 51.








Рисунок 2.22: Одиночне зображення Круа з трьома інтегрованими осями Y-подібних осей і ролером для флай-роллера.

У випадку з групою обертових осей нічого не змінюється, для обертальних рухів залишаються ті ж два виконавчі механізми: один для обертання осі Y, інший для інструменту лазерної головки на осі Z. На рисунку 52 видно представлення обертового контактну систему, яку потрібно додати до кадру у випадку обертання осі Y, як це було у системі Double Croix.

Рисунок 2.23: Конфігурація Single Croix з додатковою роторною контактною лінією.

5. ПРОГРАВАЧ ПРОТИ FLY ROLLER

Рисунок 2.24: Конфігурація Single Croix з додатковим програвачем платформи.

Пристрій  провортання  це  альтернативна  система  флай-роллера  також  доступна для Single Croix, яка гарантує можливість завантаження заготовки та

внесення її до лазерної комірки, що містить машину для обробки, а потім розвантаження.

Завантаження/розвантаження можна виконувати вручну, оператором (рис. 53),

або автоматизовано, і полягає у розміщенні заготовки на пристрої, який виконує обертання на 180°, заносючи деталь всередину коробки та обережно розміщуючи її для зварювання.

Для забезпечення безпеки працівника побудовано оптичний лабіринт із функцією екранування, розташований між оператором і лазерною камерою, як видно на рисунку 54. Ця механічна структура гарантує, що людина, яка виконує завдання завантаження/розвантаження, захищена лазерними променями, які є шкідливими для людини. Однак лазер не повинен працювати під час цієї активності, тому оптичний лабіринт є додатковим захистом.


Рисунок 2.25: оптичне представлення лабіринту.

Система програвача має дещо іншу структуру лазерної комірки порівняно з конфігурацією флай-роллера, як описано у розділі 4. Залежно від обраної транспортної системи, коробка з машиною може містити оптичний лабіринт і ще два двері для входу всередину, або лише одні двері та два вікна входу/виходу для флай-роллера (рис. 55).










Рисунок 2.26: Структура лазерної комірки з опцією провороту (l) та з флай- роликом (r)

Опис та елементи керування лазерними елементами

У цьому розділі я трохи проілюструю структуру лазерної комірки, що містить нашу машину, і як організовані всі всередині елементи.

Встановлення позицій і зв'язків усіх елементів, що складають кінцевий продукт, є невід'ємною частиною процесу розробки будь-якого елемента  Після визначення механічної структури машини всі компоненти системи були перелічені, і потрібно було вирішити, як ними керувати.

Лазерна комірка однакова як у конфігураціях Double Croix, так і для Single Croix, за винятком розміру, який у другому випадку менший. З цієї причини основна увага роботи буде зосереджена на описі коробки Double Croix та пов'язаних з нею елементах керування. Лазерна комірка містить електричні, гідравлічні та пневматичні компоненти, необхідні для функціональності машини та систем безпеки, щоб забезпечити безпеку працівників.

Розділ 4.2. присвячена опису трьох шаф, які може включати система, з особливою  увагою  до  загальної  електричної  стійки  яка  завжди  присутня  і

виконує більшість функцій.

Нарешті, розділ 4.3. повністю присвячений вибору двох відповідних НМІ та їхнім основним ролям.

Лазерна комірка

Розміри та орієнтація

Лазерна комірка, в якій розміщений робот, має форму прямокутного паралелепіпеда розмірами l x w x h 4000 x 3200x 2800 мм.

Як видно на рисунку 56, камера має вхідні двері, які дозволяють робітнику заходити всередину і виконувати операції безпосередньо до машини, два дверцята для вхідно-вихідного ролика, щоб заносити заготовку всередину та зовні камери, а також два маленькі вікна, по одному з кожного боку коробки, щоб забезпечити прямий доступ до двигунів. Кожен із цих доступів контролюється за допомогою елементів безпеки, які я

збираюся використати як доказ у версії 4.1.4. Підрозділ.

Рисунок 2.27: Представлення лазерної комірки та розмірність.

Усталена конвенція передбачає, що сторона машини, що дивиться на стіну вхідних дверей називається «стороною робота» протилежна «головною стороною» (рис. 57). Це вказує на те, що осі порталу на стороні господаря керують рухами, а осі Z і X на стороні підлеглої - слідує за ними. Єдиний стовпець у конфігурації Single Croix також адресований головній стороні лазерної комірки.

Рисунок 2.28: Вид всередині салону та орієнтація.

Ще одна розетка розташована біля вхідних дверей, з лівого боку, для підключення мобільного HMI. У той же місці потрібно також увімкнути систему безпеки вхідних дверей і стаціонарну систему HMI.

Рисунок 2.29: Вигляд ЗВЕРХУ лазерної комірки.

Гідравлічний та пневматичний розподіл

Інструмент лазерної головки потребує повітря, газу та води для роботи. Вода випускається безпосередньо з джерела лазера LHYTE, яке має вбудований водяний охолоджувач. Повітря та газ мають подаватися через пневматичну панель, розташовану поза лазерною коміркою (рис. 62), і вони подаються до ОПІ тими ж лотками кабелю, що й для двигунів, проходячи через два електроклапани та два перемикачі тиску - один для повітря, інший для газу. На рисунку 59 показано шлях повітряних і газових кабелів від флюїдної панелі до інструменту лазерної головки.

Рисунок 2.30: Схематичне представлення пневматичного розподілу.

Рисунок 2.31: розподіл пневматичних елементів.

Масштабовані апаратні та програмні компоненти, а також архітектура відкритої системи TIA (Totally Integrated Automation) з потужним і інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом роблять SINUMERIK 840D sl особливо придатним для модульних машин, забезпечуючи апаратним компонентом, який поєднує всі наступні контролери:

1. HMI
2. NCK
3. PLC
4. Система руху
5. CP

3. Архітектура мережі

Коли всі підчастини системи були ідентифіковані та перелічені (як ми бачили в попередніх розділах), нашим завданням стало визначення міжфункціональних взаємозв'язків між елементами. Отже, окрім реалізації електричної стійки, ми також розробили архітектуру мережі для нашого заводу, описуючи, як з'єднані кілька модулів, і виконуючи логічні функції мережі.

Зазвичай архітектури мережі розробляються на кількох рівнях, застосовуючи окремі мережеві протоколи для забезпечення комунікації.

Протоколи зв'язку визначають, як кожен тип комунікаційної мережі має обробляти повідомлення для ефективного обміну даними. Інтеграція модулів може бути реалізована за парадигмою комп'ютерного інтегрованого виробництва (CIM), яка полягає у використанні комп'ютерів для контролю всього виробничого процесу. Підхід CIM включає кілька рівнів комп'ютерів, кожен із яких має специфічні вимоги до обміну інформацією між пристроями [52]:

1. Рівень 0, це поле, включає датчики, актуатори та, як правило, пристрої з обмеженими або відсутніми обчислювальними можливостями.

Зазвичай це стосується обмеженої кількості даних і дуже жорсткого таймінгу (1- 100 мс).

2. Рівень 1 - контроль, де ми можемо знайти обладнання для керування та управління виробничими системами, наприклад, PLC та CNC. Тут зазвичай маємо дані середнього розміру (~ 100 байт) і час, які мають певне значення (~ 100 мс).

3. Рівень 2, керівник, включає Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), який використовує комп'ютери, мережеві комунікації дані та графічні інтерфейси користувача для управління процесами на високому рівні. Він обробляє загальні дані (також > 1 000 байт) з високою пропускну здатністю.

4. Рівень 3 - хмара, де ми можемо знайти дані, пов'язані з кількома виробничими підприємствами.

Стандартні протоколи, прийняті для забезпечення взаємодії системних модулів, це Profinet для мережевого поля, Ethernet як зовнішня мережа та OPC/UA для підключення системи до хмари. Розділ 5.1 та 5.2. Тоді в розділі

5.3 буде наведено огляд двох основних особливостей стандарту. буде проілюстрована архітектура мережі HyWeld.

3.1 Огляд Ethernet

Ethernet - це сімейство стандартизованих технологій для локальних мереж (LAN), що включає мережеві протоколи, інструменти та фізичні компоненти для підключення різних пристроїв. Він регулюється IEEE 802.3 і широко використовується в галузі.

Ethernet базується на моделі ISO/OSI, але визначає технічні характеристики лише на двох нижніх рівнях: фізичному рівні та рівні каналу передачі даних (рис. 71).

Рисунок 3.1: Рівні моделей ISO/OSI порівняно з рівнями Ethernet [52].

Фізичний рівень є нижнім рівнем стандарту ISO/OSI і встановлює, як мають здійснюватися електричні та фізичні з'єднання даних. Зв'язок через Ethernet відбувається або через фізичні середовища, як мідні кабелі та оптичні волокна, або через радіохвилі.

Рівень Ethernet-каналу передачі даних поділений на два підрівні: Media Access Control (MAC), реалізований апаратно, та Logical Link Control (LLC) у програмному забезпеченні.

MAC визначає протокол доступу до середовища передачі. Існує багато різних типів MAC-рівнів, призначених для підтримки різних видів носія та топологій, які можуть підтримувати технології Ethernet. Протокол займається генерацією кадрів і визначає метод доступу CSMA/CD для Ethernet-локальних мереж. CSMA/CD розшифровується як «Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection» і є протоколом множинного доступу, що дозволяє уникати конфліктів передачі в певній домені зіткнень на локальних дротових мережах.

Рисунок 3.2: Представлення топології зірки за допомогою перемикача [52].

Якщо адреса приймача невідома, комутатор транслює пакет на всіх портах, чекаючи відповіді, а потім оновлює таблицю MAC-адрес. Завдяки цьому механізму можливо підключити Ethernet-пристрій до портів комутатора без конкретної конфігурації, що забезпечує величезну гнучкість мережі та робить її можливим навіть для недосвідчених користувачів.

Існують два типи комутаторів: некеровані та керовані. Перші пристрої розроблені для легкої роботи plug & play, без інших процедур. Вони не налаштовуються і не підтримують інші функції. Керовані комутатори, натомість, є більш просунутими, базуються на рівні каналу передачі даних. Вони представляють процесор всередині, який має адресу і зазвичай може бути доступний користувачем через командні інструкції або графічний інтерфейс. Вони підтримують деякі інші програмні характеристики, які можна налаштувати при підключенні до пристрою. Вони забезпечують складну діагностику та запобігають несанкціонованому фізичному доступу до мережевих портів.

3.2 Огляд Profinet

Profinet означає Process Field Net (Process Field Net) і є відкритим стандартом галузевої комунікації, заснованим на промисловому Ethernet. Стандарт підтримується та підтримується німецькою організацією, що складається з кількох компаній, зокрема Siemens, під назвою PROFIBUS & PROFINET International (PI), а також стандартизований IEC 61158 та IEC 61784.

Profinet задовольняє всі вимоги технологій автоматизації та знижує витрати на встановлення, проєктування та введення в експлуатацію, забезпечуючи можливості для легкого розширення та особливу силу у доставці даних у умовах жорстких часових обмежень.

Profinet забезпечує зв'язок між периферійними пристроями PLC, IPC (промислові ПК), DCS (розподілена система керування) та IO, як датчики, актуатори, приводи, роботи та інші, визначаючи їх відповідно як контролери, звані «IO-контролери», та пристрої, що називаються «IO-Devices».

Рисунок 3.3: Елементи системи введення.

Між кожним контролером IO та IO-пристроєм встановлюються так звані Відносини Додатків (AR), які використовуються для визначення різних характеристик Комунікаційних Відносин (CR) для передачі даних і обробки тривоги.

Усі функції, підтримувані Profinet, поділені на класи відповідності (CC) на основі одна одної, які визначають мінімальні вимоги для кожної конкретної сфери застосування. Загалом ці класи охоплюють такий контент, як тип комунікації (TCP/IP та зв'язок у реальному часі), засіб передачі (мідь, FO, бездротовий), що використовується, синхронізований зв'язок і поведінка резервування. Чотири визначені класи відповідності наведені нижче:

1. CC-A містить базові функції з реальним часом і дозволяє використовувати всі IT-сервіси без обмежень. Для мережевої інфраструктури достатньо сертифіката виробника, тому можна використовувати як структурований кабель, так і бездротовий LAN. Типові застосування можна знайти в інфраструктурі або в автоматизації будівель.
2. CC-B включає діагностичні послуги та топологічну інформацію. Розширена версія цього класу, яка називається CC-B (PA), містить функцію надлишковості, ключову для процесів автоматизації.
3. CC-C описує базові функції синхронізованих застосунків та IRT (ізохронний реальний час) зв'язок.
4. CC-D розширює функціональність CC-C і використовує механізми TSN (Time-Sensitive Networking), визначені IEEE для надання послуг.

Рисунок 3.4: Схема класів відповідності [53].

ProfiSAFE - це стандарт для комунікації, пов'язаної з безпекою, він надає набір правил для спільноти PROFIBUS/PROFINET для визначення високої якості продуктів і послуг. Він визначає, як пристрої, пов'язані з безпекою, такі як кнопки аварійної зупинки, світлові сітки або пристрої запобігання переповнюванню, взаємодіють із контролерами безпеки.

ProfiSAFE реалізований як окремий шар поверх рівня додатку Fieldbus для зменшення ризику помилок передачі даних. Протокол ProfiSAFE застосовує механізми виявлення відмов і забезпечує послідовні зв'язки з громадськістю між виробниками, інтеграторами, дистриб'юторами, центрами компетенції та консультантами.

3.3 Проєкт порталу TIA

Визначення структури машини, компоненти, які мають бути інтегровані в систему, та проєктування архітектури мережі - це теми, які вже розглядаються. Робота була зосереджена на поясненні численні етапів

реалізації проєкту, метою якого є досягнення максимально модульного продукту. Поточний розділ містить короткий аналіз одного з двох програмних пакетів, прийнятих для розробки системного середовища та демонстрації роботи машини. Програмою є TIA Portal, який розповсюджує Siemens, який є брендом, що забезпечує основні компоненти для нашої машини (CNC, PLC, HMI та керуючу систему).

Промислове програмне забезпечення Siemens полегшує взаємодію різних продуктів, що дозволяє інтегрувати весь промисловий ланцюг створення вартості.

TIA Portal - це середовище, яке дозволяє розробляти всю структуру системи: від проєктування архітектури мережі до коду PLC, інтерфейсу CNC-PLC та конфігурації HMI - усе це в унікальному проєкті. Перший розділ знайомить із програмним додатком і середовищем розробки, тоді як розділи 6.2 і 6.3 описують перші кроки при впровадженні плану автоматизації.

1. Опис програмного забезпечення TIA Portal

TIA Portal розшифровується як Повністю інтегрований портал автоматизації (Totally Integrated Automation Portal) і є інженерною платформою, яка використовується для визначення середовища, в якому працює SIMATIC STEP 7. Це програмний пакет, спеціально створений для розробки автоматизованих проєктів, які інтегрують продукти Siemens із колекції SIMATIC. TIA Portal - це дизайнерське середовище, яке характеризується стандартним інтерфейсом для доступу як до функцій програмування (STEP 7), так і програмного забезпечення для візуалізації (WinCC) у будь-

який час, використовуючи спільну базу даних. SIMATIC STEP

7 V16 - це остання версія програмного забезпечення, прийнята для цієї дипломної роботи, і доступна у базових та професійних конфігураціях залежно від моделі SIMATIC S7. Оскільки наша мережа інтегрує SIMATIC S7- 300, потрібно обрати професійну версію. Програмне забезпечення дозволяє скоротити час інженерії, інтегруючи всі основні компоненти автоматизованого проекту: безпеку, охорону, керування, HMI, диски, розподілений ввід/вивод, керування рухом і розподіл живлення. Він дозволяє моделювати всю інсталяцію та оцінювати її на основі віртуальної моделі. Централізоване управління системою забезпечує узгодженість даних і уникає необхідності для всіх елементів проекту виконувати процес синхронізації щоразу при створенні або зміні змінної, що дозволяє оновлювати їх безперервно та в кожній частині програми. Ще однією перевагою є зручна візуалізація даних, яка використовує операції перетягування та графічну підтримку конфігурації та діагностики. Оскільки синхронізація відбувається автоматично, кілька людей можуть одночасно отримувати доступ до проекту, працюючи в скоординованих командах, що дає системі більшу гнучкість, обробляти різні завдання та виконувати їх одночасно. Продуктивність заводу підвищується завдяки додатковим функціям діагностики та енергоменеджменту, які надійно виявляють помилки та швидко їх виправляють за допомогою численних шаблонів програмного коду. Інтерфейс користувача програмного забезпечення пропонує два різних варіанти: портал і проект. Перше, показане на рисунку 80, автоматично відкривається при запуску додатку; воно відкриває перше вікно, де можна обрати операцію для виконання, а друге - для вибору відповідних опцій. Тут ми можемо знайти варіанти легкого створення нових проектів або відкриття існуючих. У нижньому лівому куті є іконка для перемикання на перегляд проекту.

Рисунок 3.5: Програмне забезпечення TIAPortal, вид порталу.

На порталі також присутній «Вітальний тур», корисний для початківців, щоб отримати панорамний огляд усіх функцій TIA та надати онлайн-підтримку.

Огляд проекту дозволяє виконувати всі функції проекту, встановлювати параметри системи та писати код. Розділ 1 на рисунку 81 - це вікно пристроїв, де можна отримати доступ до всіх компонентів проекту, вміст вибраного пристрою показаний у другому вікні. Вікно номер 3 дозволяє користувачу безпосередньо змінювати проект через візуалізацію редакторів для написання програмного забезпечення та визначення апаратного забезпечення. У четвертому розділі візуалізуються властивості, інформація та діагностичні дані, пов'язані з пристроєм, обраним у вікні 3. Вміст вікна номер 5 варіюється залежно від того, що міститься у третьому розділі, що дозволяє користуватися бібліотеками, наданими порталом TIA.

Рисунок 3.6: Програмне забезпечення TIAPortal, вигляд проекту.

Після створення проекту опція «Перший крок», яку можна вибрати з інтерфейсу Portal, показує порядок наступних кроків для виконання (рис. 82). Перший крок - налаштувати пристрій, який може бути контролером, HMI-панеллю або ПК-системою. Потім апаратну конфігурацію можна розширити, інтегруючи інші компоненти системи для обробки. Їх вибирають із каталогу апаратного забезпечення і переносять у робоче вікно. Після вибору всіх пристроїв і налаштування їхніх властивостей необхідно встановити з'єднання для розробки відповідної архітектури.

Рисунок 3.7: Вигляд «Перший крок».

Другий крок - написати основний код, який має реалізувати всі системні функції та керувати пристроями. Його можна розширити, інтегруючи функціональні блоки (FB) для логічних зв'язків між сигналами та змінними, організаційні блоки (OB) для різних завдань, таких як організація програм, апаратні несправності, програмні помилки, циклічне переривання та багато іншого, блоки даних (DB) для зберігання змінних і функції (FC), які є такими ж, як у FB, але лише локальні змінні, не потребуючи екземплярної бази даних. Для кожного з них можна обрати бажану мову. Коли проект завершено, його можна скопіювати та завантажити на реальному апаратному забезпеченні PLC або на симуляторі, і симуляцію можна виконати. Інтегроване програмне забезпечення для моделювання PLCSIM дозволяє обробляти моделювання PLC та візуалізувати стан входів, виходів та інших секторів пам'яті PLC.

Інше інтегроване програмне забезпечення, WinCC, керує системою HMI, дозволяючи спостерігати за виконаними процесами. Це інженерне програмне забезпечення для проектування панелі SIMATIC, промислових і стандартних ПК. WinCC дозволяє користувачу керувати кодовими сторінками для керування та нагляду за машинами та установками, візуалізувати процесні процедури та визначати відповідні значення.

4. Архітектура апаратного забезпечення та конфігурація пристроїв

Першим кроком було створити новий проект під назвою «HyWeld_00» і зберегти його у потрібній директорії.

Після створення проекту необхідні пристрої для розробки плану мають бути вставлені, параметризовані та пов'язані в архітектурі мережі. Через область

«Дерево проектів» можна отримати доступ до розділу «Пристрої та мережа», що дозволяє візуалізувати екран на рисунку 83. Він складається з трьох робочих зон (панель 1 на рис. 83): вигляд пристрою, перегляд мережі та огляд топології.

Рисунок 3.8: Портал TIA Portal, розділ пристроїв і мереж.

Пристрої для вставки обираються з Каталогу апаратного забезпечення, у панелі номер 2 розміщуються області перегляду мережі за допомогою

процедури drag&drop. Каталог апаратного забезпечення містить усі пристрої та карти, доступні для додавання до системи, а також файли GSD і GSDML. Файл загального опису станції PROFINET (GSD), або «GSDML», якщо описаний у форматі XML, - це опис пристрою введення, наданий виробником пристрою. Вміст файлів GSD містить інформацію про конфігурацію, параметри, модулі, діагностику та сигналізацію, ідентифікацію виробника та пристрою. Каталог має постійно оновлюватися, щоб відкривати нові пристрої, і якщо програмуючий ПК підключений до Інтернету, можна отримати прямий доступ до Siemens Сторінка підтримки продукту та ознайомтеся з технічним листом пристрою. Кожен компонент можна вибрати у вигляді мережі та відкрити у вигляді пристроїв для аналізу відповідних деталей і налаштування шляхом вставки параметрів або зміни властивостей. Праве бічне вікно призначене для візуалізації деталей пристроїв у таблиці; на третій панелі на рис. 60

можна побачити вікна огляду, які можна проконсультувати для кожного пристрою і використовувати для читання/запису бажаних даних: властивості, інформація та діагностика. У вигляді топології можна створити структуру мережі та спроектувати фізичні зв'язки між компонентами. Виходячи з цих припущень, операція полягає у виборі опції «Додати новий пристрій» у вікні «Дерево проекту», таким чином було візуалізовано панель на рис. 61, де ми можемо обрати, чи вставляти контролер, HMI чи PC-систему.

РИСУНОК 3.9: ПодбавляйтеОртал, ДОДАЙТЕ НОВУ ПАНЕЛЬ ПРИСТРОЮ.

Бажаний контролер введено, вибрано відповідний процесор і версію прошивки, якою в нашому випадку є модуль CNC Sinumerik 840D sl, що містить PLC, SINAMICS Integrated, NCK, CP та HMI підмодулі, показані на рис. 83.

Після виконання цих пасажів візуалізується нова підпапка з модулем Sinumerik, і користувач має параметризувати її через вікно властивостей, вибравши адреси введення/виведення та модулі зв'язку. Властивості не-PLC підмодулів потрібні лише для встановлення адрес у випадку, якщо вони відрізняються від стандартної версії.

Інші компоненти, які слід інтегрувати в апаратну архітектуру, вже обговорювалися в поясненні електричної стійки та архітектури мережі в розділі 4.2. та 5.3 відповідно. Вузли, які мають бути включені до апаратного оформлення TIA, - це ті, що складають польову мережу, у нашому випадку, з'єднану протоколом Profinet. Кожен пристрій вибрано з апаратного каталогу, розміщено в області перегляду мережі, щоб утворити вузол мережі Profinet, і налаштовано.

Для спрощення розробки архітектури створено таблицю Excel, у якій всі складові вузли та відповідні адреси відображаються відповідно до резервування адрес, зазначеного в електричному компонуванні стійки. У таблиці для кожного пристрою призначено відповідні параметри: ім'я вузла IP-адреса, адреси вхідних і вихідних даних, а також відносна кількість байтів. До пристрою виведення Profinet можна отримати контролер Profinet лише після того, як ім'я пристрою та параметри IP-адреси призначені для однозначної ідентифікації вузла. Назва пристрою гнучко обирається відповідно до відповідного заводу для полегшення огляду мережі, корисною конвенцією для його створення є включення індикатора типу пристрою до назви для надання інформації інженерам для обслуговування. IP-адресу можна автоматично призначити або вибрати вручну, і вона вказується в заголовку IP-кадру для однозначної ідентифікації хост-пристрою, підключеного до мережі за допомогою IP-протоколу. IP-адреса може бути виражена за допомогою двох різних конвенцій: IPv4 та IPv6; Перший - це той, що прийнятий у нашій системі. Позначення адреси IPv4 складається з чотирьох пунктирних десяткових чисел, кожне з яких має від 0 до 255 (28=256), як показано на прикладі на рисунку 85.

Рисунок 3.10: Приклад позначення адрес IPv4 [55].

Номер IP-адреси складається з ідентифікатора мережі (Net_ID) для вибору мережі або підмережі, а також ідентифікатора вузла (Host_ID). Ця нотація була встановлена у 80-х роках, і на той час перші вісім бітів відповідали Net_ID, що дозволяло мати максимум 256 мережевих ідентифікаторів, що зараз є недостатнім числом. Щоб подолати це обмеження, організація адрес була переосмислена у п'ять мережевих класів - від A до E. Класи A, B і C надають мережеві адреси трьох різних розмірів полів, здатні адресувати змінну кількість хостів. Вони надають унікальні адреси для передач один на один, тоді як клас D визначає багатоадресні адреси для розподілу від одного до багатьох або багатьох до багатьох. Крім того, клас E зарезервований для майбутніх застосувань.

Рисунок 3.11: Портал TIA конфігурація карти вводу/виводу Cassandra.

Отримана апаратна конфігурація, реалізована на порталі TIA, показана на рисунку 87 а на рисунку 88 - представлені погляди мережі та топології.

На рисунку 65 показано графічне представлення модуля SINUMERIK з інтегрованим підмодулем SINAMICS, який керує системами, а також усі доступні комунікаційні інтерфейси, що надаються підмодулями PLC і CP, позначені кольоровими квадратами. Крім того, на рисунку 87 можна побачити з'єднання, що починається від згаданих інтерфейсів ПЛК, які потрібно налаштувати у вікні Properties. По-перше, ПЛК відповідає вузлу 1 польової мережі (Таблиця 7), тобто кабелі Profinet підключаються до двох портів інтерфейсу X150 підключені до комутаторів Scalance як у свою чергу, підключають усі інші пристрої до мережі. Рисунок 89 ілюструє конфігурацію інтерфейсу PLC Profinet на порталі TIA.

Рисунок 3.12: Портал TIA конфігурація інтерфейсу PLC Profinet.

Як пояснюється у розділі 5.3, модуль SINUMERIK з'єднаний із модулем Numeric Extension NX 15.3 через Profibus Integrated (рис. 90), реалізований за допомогою кабелів Drive CLiQ, підключених до спеціального порту інтерфейсу X105. Profibus-мережі представляють архітектуру Master-Slave, яка у нашому випадку складається лише з двох вузлів: PLC - це Master, а NX- модуль - Slave.

Рисунок 3.13: Портал TIA конфігурація модуля NX 15.3.

Нарешті, фіксований HMI-ПК, який вже підключений до основної мережі Profinet як вузол 2, має також спілкуватися з CP-підмодулем, тому нова підмережа додається за Ethernet-адресами в розділі властивостей CP через інтерфейсний порт X120/X130/X127, виділений для програмного пристрою. Для цього використовується інтегроване «HMI-з'єднання», ідентифіковане з діапазоном IP-адрес 192.168.214.x з лише двома вузлами як видно на рисунках 91 і 92.

Рисунок 3.14: Портал TIA конфігурація CP.

Рисунок 3.15: Портал TIA конфігурація системи ПК.

4. Огляд програмування PLC

У вікні дерева проекту (рис. 93) усі пристрої відображаються з їхнім вмістом, і подвійне натискання на об'єкт автоматично запускає відповідний редактор. Поточний розділ зосереджується на ієрархічній структурі PLC, яка інтегрує всі дані проекту у підпапки, такі як блоки програм, теги PLC, типи даних PLC, таблиці спостереження та примусу та інші. Кожен із них проілюстровано з особливою увагою до блоків програм і модальностей

комунікації між операційною системою та роботами користувачької програми.

Рисунок 4.1: Портал TIA Вікно дерева проєкту.

Деякі підпапки PLC детально проаналізовані далі:

1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ОБ'ЄКТ

Папка об'єктів Technology містить конкретні блоки даних, пов'язані з технологічними функціями, які можуть бути вимагані від додатка, а також дані конфігурації для об'єктів керуючих циклів (контролери PID, керування рухом тощо). PID-контролер можна згенерувати як технологічний об'єкт за допомогою редактора «Додати новий об'єкт».

2. ТЕГИ PLC

При створенні станції PLC також створюється папка PLC-тегів із відповідною таблицею тегів. Папка містить підрозділи для показу всіх PLC-тегів усіх таблиць, таблиці тегів за замовчуванням та редактора "Add new tag table". Власноруч створені таблиці можна перейменувати та організувати у групи, що містять підмножини тегів PLC.

Рисунок 4.2: Таблиця тегів за замовчуванням.

Таблиці тегів містять параметри конфігурації для всіх тегів PLC:

1. Назва тегу може містити літери, цифри та спеціальні символи. Він не міг бути вже призначений блоку, іншому PLC-тегу, символічно адресованій константі або типу даних PLC;
2. тип даних тегу, що визначає, як представлений вміст даних (пізніше - детальніше);
3. Адреса, призначена в абсолютному режимі (наприклад, %I1.0), відмінною від символічної адресації (ім'я + тип даних) операнда. Абсолютна адреса стану сигналу або числового значення складається з специфікації площі та ширини операнда, що надається числом. Приклади:
%I2.5 позначає біт 5 у байті 2, у області операнда «Входи».
%QB34 вказує байт 34 у області операнда «Outputs».
%IW128:P позначає слово 128 (16 біт) у області операнда «Периферійні входи».
%MD200 позначає подвійне слово 200 (32 біти) у області операндів «Бітова пам'ять».
4. Мітка визначається як ретривна, якщо зберігає стан і значення сигналу при відновленні живлення. Галочка у стовпці «Зберігати» позначає, які бітові пам'ять і функції таймера/лічильника SIMATIC встановлені як ретентивні;
5. Доступний через атрибути HMI, щоб HMI міг читати/записувати тег під час виконання;
6. Видимий за атрибутами HMI, щоб зробити тег видимим за замовчуванням у списку вибору станції HMI;
7. Коментар, щоб коротко пояснити зміну.

Продовжуючи в елементах, представлених у таблиці тегів PLC, як на рисунку 94,

«константа» - це фіксоване числове значення певного типу даних. Глобально дійсні константи можна визначити в таблиці тегів PLC під вкладкою User constant (рис. 95), присвоївши ім'я, тип даних і фіксоване значення, а потім використати їх у користувачькій програмі з символічною назвою. Ім'я константи унікальне для всього процесора і не обов'язково вже було призначене для PLC-тегу, типу даних PLC або блоку. Літери, цифри та спеціальні символи, крім подвійних лапок, дозволені для імені, а також усі елементарні типи даних.

Рисунок 4.3: вкладка «Константа користувача».

Крім того, при компіляції апаратної конфігурації TIA Portal автоматично призначає системну константу для кожного підмодуля, визначеного в процесорі.

3. ТИПИ ДАНИХ PLC

Папка типів даних PLC містить користувачькі структури даних для тегів і блоків даних, які коректно представляють вміст даних і встановлюють дозволені діапазони. Папку типів даних PLC можна налаштувати за допомогою власноруч створених підпапок, як у папці тегів PLC. Тип даних операнда або тегу визначає, які значення можуть мати їхні біти.

Тип даних PLC можна налаштувати так, щоб присвоїти ім'я структурі даних (рис. 96), наприклад, оскільки він часто використовується в програмі і залишається дійсним по всьому процесору (глобальному). Зміщення та значення за замовчуванням також визначаються, а також встановлено галочку, якщо значення тегів видно в інженерії HMI. Натомість коробка Setpoint перевіряє, чи потрібно коригувати значення під час введення в експлуатацію.

Рисунок 4.4: Таблиця визначення типів даних PLC.

Типи даних можна розрізнити за такими:

1. Елементарні типи даних, які попередньо визначені відповідно до IEC 61131-3 і можуть мати ширину до 32 біт.

Двійкове число	БУЛЛ	1 біт
Бітова послідовність	BYTES; СЛОВО;	DWORD 8, 16, 32 біти
Ціле число	INT; DINT	16, 32 біти
Число з плаваючою комою	СПРАВЖНІЙ	32 біти
Час S5-TIME; ЧАС		16, 32 біти
Дата, час	DATE; TIME_OF_DAY	16, 32 біти
Характер	CHAR	8 біт, ASCII-код

Таблиця 1.7: Класифікація елементарних типів даних.

2. Складні типи даних, які містять структури даних, що включають елементарні та/або комбіновані типи даних. Ці типи даних можуть використовуватися локально лише в інтерфейсі кодових блоків і блоків даних, вони не затверджені для операційних областей Inputs (I), Outputs (Q) та Bit Memory (M) у таблиці тегів PLC.

Дата, час	DT(DATE_AND_TIME)	8 байтів
Рядок символів	STRING	2 + n байтів
Масив	МАСИВ[...] <типу даних>	змінна
Анонімна структура	СТРУКТУРА	змінна
Визначені користувачем	Тип даних PLC	змінна

Таблиця 1.8: Класифікація складних типів даних.

4. СТИЛ СПОСТЕРЕЖЕННЯ І ПРИМУСУ

Під час тестування програми можна використовувати таблицю спостереження для моніторингу, контролю та примусового внесення значень тегів, змінюючи їх під час виконання. Натомість можна розгорнути таблицю Force для присвоєння фіксованого значення входам і виходам периферійного пристрою. Папки Watch і Force Tables можна налаштувати за допомогою власноруч створених підпапок.

5. РОЗПОДІЛЕНИЙ ВВОД/ВИВІД

Папка розподіленого введення/виведення (рис. 97) містить модулі введення/виведення, підключені до центральної станції PLC через мережеву систему. Вони розташовані в тому ж об'ємі адрес, що й центральний ввід/вивід, щоб адреси не перекривалися.

Рисунок 4.5: Розподілена папка введення/виведення.

6. ПРОГРАМНІ БЛОКИ

Програмування STEP 7 Professional дозволяє створювати користувацьку програму у вигляді окремих секцій, які називають «блоками» - це частини користувацької програми, визначені її функцією, структурою або додатком. Папка блоків програм (рис. 98) може бути організована у підпапки, що містять усі автономні секції програми.

Рисунок 4.6: Папка блоків програм.

З редактора «Додати новий блок», видимого на рисунку 99, можна ввести блоки, що складають нашу програму, і вибрати мову програмування серед п'яти дозволених: сходова логіка (LAD), схема функціонального блоку (FBD), список операторів (STL), структурована мова керування (SCL) та послідовне керування (GRAPH).

Можна запрограмувати кілька типів блоків залежно від застосування:

1. Організаційні блоки (OB) представляють інтерфейс між операційною системою та користувацькою програмою. Вони викликаються операційною системою, коли виникають певні події, і обробляються відповідно до їхніх пріоритетів: OB з вищим пріоритетом переривають OB нижчого пріоритету. Вони визначають послідовність подій, у яких

Окремі секції програми обробляються і обробляють цикл обробки програми, переривання, поведінку при запуску та помилки. OB ідентифікуються за конкретним фіксованим номером, що відповідає застосунку, наприклад, основна програма знаходиться в OB 1, а ті, що дозволені для розглянутого PLC, вже перелічені в панелі «Додати новий блок».

Рисунок 4.7: Редактор «Додати новий блок».

2. Функціональні блоки (FB) можна викликати через програмні інструкції, призначаючи входи та виходи, які називаються блочними параметрами. FB мають пам'ять, в якій локальні теги зберігаються назавжди, розташовані в блоці даних екземпляра (DB). Під час дзвінків теги можуть передаватися з програмою, що знаходиться в блоці, для роботи. Таким чином, блок можна багаторазово викликати з певною функцією, але з різними наборами параметрів.

3. Функції (FC) використовуються для програмування часто повторюваних автоматизованих функцій. Вони схожі на функціональні блоки, але не зберігають інформацію в пам'яті і не мають призначеного блоку даних. Приклади можна візуалізувати на рисунку 100.

4. Блоки даних (DB) містять дані користувацької програми. Блоки даних екземпляра призначаються виклику функціонального блоку, який представляє згадану пам'ять тегів FB. Глобальні бази даних містять дані, які не призначаються жодному блоку, тоді як типи БД мають структуру типу даних PLC.

РИСУНОК 4.8: EXAMPLE ВИКЛИКУ FC У LAD, FBD, STL, SCL.

Кількість організаційних блоків та пов'язані з ними номери визначаються операційною системою і призначаються, за бажанням, у допустимому діапазоні. На рисунку 101 наведено приклад організаційного блоку OB 1, що містить основну програму. Функціональні блоки (FB), з відносним блоком даних екземпляра (DB) як пам'яттю даних, та функції (FC) викликаються в них для активації режимів роботи та виконання обробки даних.



Кількість блоків, які можна викликати один у одному, тобто кількість рівнів виклику, визначається як глибина вкладення і є обмеженою. Згідно з рисунком 101, FC 20, названий «Interlocks», названий всередині FB 20, всередині OB 1, тобто відповідає глибині вкладення 3. Максимальна глибина вкладення у програмі запуску, основній програмі та процедурах переривання дорівнює 8, тоді як у програмі з помилкою її значення - 4. Якщо цей поріг  перевищується, процесор генерує помилку виконання програми. З іншого  боку, немає обмеження на блоки, викликані послідовно в одному OB.

Рисунок 4.9: Приклад організації програми.

Папка програмних блоків (рис. 98) також містить підпапку під назвою System blocks, яка включає системні та стандартні блоки, що можуть використовуватися в програмі, автоматично створені при використанні блоку того ж типу. Системні блоки є частиною операційної системи, їх не можна модифікувати, і вони не потребують місця в пам'яті користувача. Це можуть бути системні функції (SFC), блоки системних функцій (SFB) та блоки системних даних (SDB). Вони виконують кілька важливих системних функцій, наприклад, керування внутрішнім тактовим сигналом процесора або деякими комунікаційними функціями. Ті ж підпапки можна знайти стандартні блоки, доступні від Siemens. Вони поводяться як користувацькі блоки, потребують місця в пам'яті, але не можуть бути змінені. Виконання програми PLC є циклічним, тобто основна програма виконується навіть якщо керована машина не працює. Виконання може бути перерване, коли виникають певні події, і відповідні ОВ викликаються в програмі. Це можуть бути апаратні переривання, такі як запит від керованої машини на швидку відповідь, або циклічні переривання, що відбуваються у визначені інтервали. Потім керуючий процесор продовжує виконання основної програми з точки переривання.

На рисунку 102 можна спостерігати взаємодію між операційною системою та користувацькою програмою з відносними режимами роботи.

Рисунок 4.10: Режими виконання програми користувацької програми.

Операційна система є незмінною частиною процесора, включаючи всі оператори та оголошення внутрішніх операційних функцій. Деякі приклади функцій операційної системи - збереження даних у разі відключення електроенергії та активація пріоритетних класів. З іншого боку, користувацька програма складається з інструкцій та інформації, запрограмованих користувачем для керування станцією та виконання завдання автоматизації. Він розташований у папці блоків програм і організований модульним способом, розділяючи його на секції програм, які виконуються процесором для конкретних подій, відповідно до концепції пріоритету. Таким чином визначається послідовність страт. Програма запуску, якщо вона присутня, викликається один раз і виконується першою. Він належить до ОВ 100 і може запускатися при ввімкненні блоку живлення або за допомогою входу, поданого підключеним програмуємим пристроєм. Після запуску процесор керування оновлює вхідні та вихідні сигнали у образах процесу і викликає ОВ 1, що містить основну програму, досягаючи стану виконання. Основна програма створюється автоматично і має найнижчий пріоритет виконання. Кожного разу після обробки керуючий процесор повертається до операційної системи для підтримки зв'язку з програмним пристроєм і оновлення вхідних і вихідних сигналів, після чого виконання основної програми перезапускається. Інші дії, виконані у заданих стартових і запускових станах, можна побачити на рисунку 103. Вибір прийняття модульної структури для користувацької програми, налаштовуючи її поетапно, підходить для досягнення масштабних завдань. Це дозволяє повторно використовувати функції програми, якщо це необхідно, і дає можливість виконати роботу більше ніж одній особі. Тестування програм, обслуговування та технічне обслуговування також спрощуються цим підрозділом. Навпаки, використання лінійної структури програми, в якій вся користувацька програма присутня в одному блоці, може бути хорошим рішенням для малих програм.

Рисунок 4.11: Приклади діяльності процесора в режимах запуску та запуску.

Симуляція SinuTrain

Розділ присвячений другому прийнятому програмному пакету, а саме програмному забезпеченню Siemens SinuTrain, яке використовувалося для моделювання деяких кодів CNC, реалізованих для ілюстрації рухів осей, які машина має використовувати в різних ситуаціях. Перший розділ коротко розглядає програмне забезпечення SinuTrain та його інтерфейс програмування, а наступні описують симуляції роботи машини, реалізовані для різних типів батарей. Покриті кейс-стаді стосуються реальних батарей, замовлених у клієнтів Comau, але з міркувань конфіденційності назви фабрик не можуть бути розкриті, а зображення батарей не можуть бути показані.

Опис програмного забезпечення SinuTrain

SinuTrain for SINUMERIK Operate - це виконане програмне забезпечення для симуляції ПК для програмування з ЧПУ, яке має інтерфейс, ідентичний програмній станції керування CNC SINUMERIK, що дає змогу працювати з тими ж операціями та програмуванням, що й пристрій Siemens CNC, оснащений графічною робочою поверхнею SINUMERIK Operate. Для кожної версії Sinumerik Operate існує версія програмного забезпечення SinuTrain, що дозволяє одному ПК бути достатнім для програмування деталей, тестування програм NC. Оскільки ми планували інтегрувати Sinumerik 840D sl CNC у нашу архітектуру машини, для симуляції використовується програмна версія SinuTrain 4.8. Програмне забезпечення підтримує токарні, фрезерні верстати та комбіновані технології, приймаючи системи з 3, 3+2 та 5 осями. Однією з переваг є можливість виявляти ризик зіткнень, що дає можливість усунути їх у симуляції та запобігти пошкодженням. Коли програмне забезпечення запускається, перша сторінка інтерфейсу (рисунку 104) просить користувача обрати віртуальну машину для роботи. Без ліцензії, у безкоштовній версії, доступні лише функції SinuTrain Basic, а два стандартні типи машин дозволяють наближено імітувати пристрій, який ви хочете змодельувати: фрезерний верстат DEMO та верстат DEMO. Перший - це одноканальний, трьохлінійний верстат з інструментом у вертикальному напрямку, що є спрощенням нашої декартової машини, тоді як другий - одноканальний, трьохвісний верстат з основним шпинделем і ведучим шпинделем інструмента, орієнтованими горизонтально.

Рисунок 4.12: Екран запуску SinuTrain.

Після створення віртуальної машини відкривається інтерфейс користувача, дорівнюючи інтерфейсу операційної панелі Sinumerik 840D (рисунку 65), як на рисунку 105. Графічний інтерфейс складається з дисплея (1), клавіатури CNC (2) та панелі керування машиною (3, 4, 5). Усі дані машини та кодові сторінки можна візуалізувати у вигляді дисплея або плоскої операторної панелі, що дозволяє виконувати функції CNC, обирати відповідний інструмент і проектувати заготовку.

Розділ, позначений як 2 на рисунку 105, містить кнопки оперативної панелі, включно з вибором меню, клавішами курсора, кнопкою допомоги, яка викликає контекстно-залежну онлайн-допомогу для вибраного вікна, скасування тривоги та деякі інші. Клавішу вибору меню можна викликати у будь-який момент, незалежно від операційної зони, в якій ви перебуваєте, відкриваючи головне меню, показане на рисунку 106.

Рисунок 4.13: Інтерфейс користувача SinuTrain.

Рисунок 4.14: Опції головного меню.

Клавіша Machine використовується для візуалізації поточного стану машини, позиціонування, просування та стану шпинделя. Ключ Parameter використовується для редагування даних з метою управління програмами та інструментами, які включені до списку інструментів і організовані в журналі. Кнопка «Програма» дозволяє редагувати програми, а менеджер програм створює нові та відкриває існуючі для виконання, модифікації, копіювання або перейменування у будь-який час. Ключ діагностики обробляє сигналізації та повідомлення, а ключ для стартапів - для обслуговування та підтримки.

Третій розділ на рисунку 105 містить клавіші, які дозволяють оператору обрати вісь або модальність для виконання керуючої програми.

Чотири кнопки внизу ліворуч призначені для запуску/зупинки робочого циклу та скидання машини.

У нижньому лівому куті, у секції 4, є дві аналогові ручки для регулювання швидкості та руху шпинделя. Кожна з них поєднана з двома кнопками: зеленою для обертання або переміщення шпинделя та червоною для вимкнення. Нарешті, розділ 5 відповідає аварійній кнопці, яку потрібно натиснути для негайної зупинки машини у небезпечних ситуаціях.

Програмне забезпечення дозволяє моделювати виробничий процес, відстежуючи варіації всіх кінематичних величин, пов'язаних з будь-якою з залучених осей, у будь-який момент.

Окрім класичного ISO-програмування, Sinumerik Operate дає змогу застосувати два більш зручні методи програмування, показані на рисунку 107:

1. Програмний гід - код G.
2. ShopMill/ShopTurn для різця та токарного верстата відповідно.

Рисунок 4.15: Приклад програмного посібника програмування кодом G (вгорі), ShopMill (нижче).

Для всіх операцій, які можна реалізувати на машині, Sinumerik Operate надає деякі графічні анімовані елементи, які допомагають програмісту керувати всіма функціями машини.

Програмний гід схожий на програмування ISO, яке стосується стандарту ISO 6983-1 (2009), що описує всі основні аспекти та функції програми. Цей метод програмування дозволяє машині виконувати детальну послідовність блоків, що вказують на виконання операцій.

Інтерфейс користувача ShopMill/ShopTurn спеціально розроблений для

майстерні і орієнтований на виконання операції, що дозволяє швидко та практично програмувати різні етапи обробки. Як видно з прикладу представлення (рис. 107), на першому стовпці кожного рядка зображено символ, який позначає операцію або цикл операцій, які машина виконує. Завдяки ShopMill SIEMENS пропонує спеціально адаптований метод програмування, де створення плану процесу з інтуїтивно зрозумілими та зручними для оператора послідовностями обробки дозволяє користувачу створити програму NC-напряму з креслення. Ще одна перевага такого способу програмування полягає в тому, що зміни та різні варіанти заготовки можна швидко програмувати завдяки чіткій структурі, а навіть складні контури стають простими у виробництві завдяки інтегрованим, потужним інструментам для створення шляхів проходження.

Вибір методу програмування залежить від кількох умов: типу машини, яку представляти, типу заготовки, яку потрібно виготовити, та здібностей оператора.

4.1 Модуль батарейного підсумка з гнучкою активністю

Важливою особливістю машини Double Croix є забезпечення робочого простору, достатньо широкого для розміщення широкого спектра батарей різних форм і розмірів. Модуль акумуляторів, розглянутий у поточному розділі, досить великий у порівнянні зі звичайними автомобільними батарейними модулями, оскільки він призначений для морського застосування.

Модуль складається з тридцяти комірок для підсумків розміром 20x154x286 мм, з двома вкладками, розташованими з одного боку, як показано на рисунку 108.

Рисунок 4.16: Представлення комірок мішка.

Модуль батареї має загальні розміри 480x170x310 мм і може бути представлений простим кубоїдом на рисунку 109, вираженим з тією ж орієнтацією, що й машина Double Croix. Нижня сторона твердого тіла, що лежить на площині XY, - це та, що буде розміщена на флай-роллери (або на обраній транспортній системі) для транспортування до зварювального положення. Елементи, що складають модуль, розміщуються у вертикальному положенні, при цьому їхні вкладки спрямовані вгору до порталу, готові до згинання та приварювання до шини лазерним інструментом.

Рисунок 4.17: Представлення модуля батареї.

Два зварювання, по одному для кожної вкладки, виконуються для кожної комірки в горизонтальному напрямку вздовж осі Y, у площині XY. Потім машинний портал рухається у напрямку X, щоб обробити наступну комірку, і так далі до останньої клітинки, що складає модуль, загалом шістьдесят зварних швів. Перевага використання продукту Comau полягає в тому, що коли портал рухається в напрямку X для роботи з наступною коміркою, він одночасно виконує згинання вкладки завдяки згаданому додатковому пристрою (Підрозділ 3.3.1.). Графічне зображення модуля з зігнутими вкладками, яке видно зверху на рисунку 110, де червоні лінії позначають два зварні шви, нанесені на першу комірку.

Рисунок 4.18: Вид зверху модуля акумулятора з першим елементом звареним.

Завдяки досліджуваному продукту можна об'єднати дві окремі станції конвеєра для батарей, що дозволяє скоротити час виробництва та витрати.

Цикл дії, розроблений для обробки кожної комірки, що складається з модуля батареї, описаний у Таблиці 10, де для кожної дії виражаються інкрементальні значення, що відображають рухи, що здійснюються по кожній осі, та їхні швидкості. Цикл, описаний у згаданій таблиці, використовувався для структурування коду ЧПУ з можливістю імітації за допомогою програмного забезпечення SinuTrain.

Дії Швидкість [м/хв] X [мм] Y [мм] Z [мм]

1) Згинання	12	14	
2) PUSH	10	50	
3) ПІДХІДНИЙ ПЛАСТ	1	10	25
4) ЗВАРННИЙ ШОВ 1	12	50	
5) ПІДХІДНИЙ ШОВ	2	10	40
6) ЗВАРННИЙ ШОВ 2	12	50	
7) ВИПУСК	10	-165	-50

Таблиця 1.9: цикл дій.

Перед початком виконання циклу, викладеного в таблиці 10, є деякі рухи підходу, які машина має виконати, щоб зайняти портал і лазерну головку у відповідних положеннях. Початкова позиція для обробки кожної комірки знаходиться безпосередньо перед табуляціями поза бічними краєм модуля.

Перший необхідний рух - вздовж осі X, щоб зігнути язички і зробити їх дотиком до шини. Потім портал проходить по осі Z для дії PUSH, наближаючи лазерний інструмент до поверхні для зварювання. Лазерна головка рухається в напрямку Y, щоб наблизитися до початку зварювання, а потім виконує перший шов довжиною 50 мм, щоб з'єднати язичку з шиною. П'ята дія - пригнати головку інструменту від кінця першого шва до початку другого. Фаза RELEASE передбачає, що портал рухається одночасно в напрямках Z і Y, повертаючись у початкове положення, просто зміщений на 14 мм вперед уздовж X-осей для повторного запуску циклу наступної клітини. Усі дії з Таблиці 10 схематично представлені на рис. 111.

Рисунок 4.19: схема циклу дій.

Вимоги до виробництва модуля, встановлені замовником на основі характеристик хімічної та фізичної батареї, передбачають швидкість зварювання 12 м/хв, що еквівалентно 200 мм/с.

Симуляція циклу дій SinuTrain була реалізована за допомогою простого фрезерного верстата DEMO щодо деяких наближень:

1. Машина Double Croix, інтегрована з опціями лазера та згинання, не враховуючи осі перевірки якості, має п'ять лінійних осей. Чотири з них належать до двох пар порталів, тому машину можна представити простою схемою з 3 осями декарту.

2. Заготовка також відома як батарейний модуль, була апроксимована кубоїдом, як на рисунку 109.

3. Серед інструментів доступних від SinuTrain немає лазерної головки, тому було вирішено використати інструмент ріжучого типу діаметром 1

мм для імітації ефекту лазерного зварювання. Таким чином, зварювальні шви будуть представлені у симуляції шляхом вирізання ліній на заготовці. Таким чином, зміщення по осі Z не відображає реальних значень, оскільки в реальному зварювальному випадку лазерний інструмент не торкається заготовки.

Після запуску машини проєкт створюється в каталозі заготовок, обираючи тип програмування «ShopMill» (рис. 112), оскільки це інтуїтивніше і швидше для деяких кроків, але також використовувалося кодування «Program Guide».

Рисунок 4.19: Створення нового проєкту.

На екрані запуску показано заголовок програми (рис. 114), який використовується для встановлення деяких параметрів і налаштування форми та розміру заготовки, що є ефективним для повної програми. Тут ми визначаємо так званий робочий зсув G54, тобто команду, в якій зберігається нульовий робочий елемент. Заготовка нуль (W), також відома як програма нуль, є початком координатної системи заготовки, її можна вільно обирати, і вона визначає відстань від початку координатної системи машини, машини нуль (M). Останнє визначено виробником і не може бути змінено; представлення нулів заготовки та машини можна побачити на рисунку 113. У нашому випадку ми вирішили, щоб дві рамки збігалися під кутом верхньої сторони заготовки і встановили там початкове положення інструменту

Рисунок 4.20: Представлення машини нуль (M) та заготовки нуль (W) [54].

Рисунок 4.21: Конфігурація заголовка програми.

Дивлячись на зображення заголовка програми, можна побачити, що обрано площину обробки G17 (PL), тобто процес виконується на площині XY. Оптимізований патерн положення втягування обирається так, щоб інструмент рухався над заготовкою на межі запобіжного зазору (SC) відповідно до заданого контуру (рис. 115).

Рисунок 4.22: Оптимізоване втягування порівняно зі стандартом [54].

Після визначення заготовки потрібно вибрати відповідний інструмент зі списку інструментів за допомогою команди T U нашій програмі створено

інструмент типу «ЛАЗЕР» діаметром 1 мм (рис. 116), який використовується в нашій програмі, встановлюючи робочу швидкість 12 м/хв.

Рисунок 4.23: Вибір інструментів.

Мова програмування CNC надає величезну кількість інструкцій, які можна використовувати для кодування обробки. Використовуються кілька літерних адрес, тобто різні класи функцій, деякі з яких наведені у Таблиці 11.

X, Y, Z Абсолютне або інкрементальне положення лінійних осей

A, B, C Абсолютне або інкрементальне положення осей обертання

F Швидкість живлення

G Підготовчі командування; визначає статус машини, короля руху, зміщення цінності та інші...

M Різне функції визначає Бойові дії код, Допоміжні командування, описи та інші...
N Кількість інструкцій: рядок (блок) програми
S Швидкість шпинделя
T Вибір інструментів

Таблиця 1.10: Деякі інструкції програмування з ЧПУ.

Код розроблений для симуляції спочатку встановлює рух підходу для позиціонування інструменту в початковій точці (рис. 111) а потім визначає for- cycle для детального пояснення всіх інструкцій обробки для кожної клітини. Рухи осей виражаються за допомогою команд G00 і G01: перша наказує машині швидко рухатися до точки і використовується для позиціонування, друга - лінійну інтерполяцію осей до кінцевої точки. За інструкцією G00 осі рухаються з великою швидкістю та прискоренням, встановленими конструктором, які в стандартній версії SinuTrain відповідають 10 м/хв і 10 м/с²; ці швидкості виражаються у параметрі налаштування машини і не можуть бути змінені. З іншого боку, команда G01 вимагає інструкції F, яка вказує швидкість подачі, з якою вісь має рухатися, виражену в мм/хв. Форма команди: G01 X... Y... Z... F..., де X, Y, Z позначають координати точки прибуття. Повідомлення, що ідентифікує кожну дію, відображається у верхній частині режиму симуляції для артикуляції циклу через команду msg ("ACTION").
Отриману симуляцію можна візуалізувати як з виду зверху, так і у 3D-режимі, як на рисунку 93.

Рисунок 4.24: Результати симуляції.

Відповідно до циклу дії, викладеного в таблиці 10, з зазначеною швидкістю зварювальної подачі та високою швидкістю та прискоренням, отриманий час симуляції становить близько 1'20" і можна побачити на рисунку 117 у нижньому правому куті.
Модуль циліндричної батареї

Інший замовник замовив збірку акумуляторного модуля, що містить 266 літій- іонних циліндричних елементів у форматі 21700, що видно на рисунку 118.

Рисунок 4.25: Циліндрична комірка формат 21700.

Такі елементи виготовляються з NMC8111 катодом, що складається з нікелю, марганцю та кобальту, з молярним співвідношенням 8-1-1, а їхня ємність може перевищувати 6000 мАг. Комірки розташовані у 14 рядках і 19 колонках і мають зварюватися з обох боків, утворюючи паралельні послідовні з'єднання, утворюючи модуль розмірами 475x322x90 мм, графічно показаний на рисунку 119.

Рисунок 4.26: Представлення модуля батареї.

Сині лінії, показані на рис. 119, позначають шини, до яких підключені клеми. Конфігурація модуля має 19p14s, де p означає паралельні зв'язки, а s - до рядів, тобто кожен ряд із 19 комірок з'єднується з сусіднім послідовним з'єднанням, як у прикладі на рисунку 120. Паралельні з'єднання забезпечують найбільшу пропускну здатність, забезпечуючи суму струмів кожної комірки, тоді як у послідовному з'єднанні елементи підтримують однаковий струм, що дає нам суму падіння напруги окремих компонентів. Максимальна напруга модуля становить 58,8 В, що утворюється з суми максимальна напруга кожного рядка, що дорівнює 4,2 В, що є верхньою межею напруги циліндричної комірки у форматі 21700.

Рисунок 4.27: Приклад паралельного зв'язку для циліндричного модуля[56].

Для зварювання клем комірок до шин можна використовувати три з'єднання: філеточний з'єднання, з'єднання з приколом і багатоступеневі зварні зварювання (рис. 121) [57].

Рисунок 4.28: Зліва зліва: філе-з'єднання, лап-з'єднання, кілька точкових зварів [57].

Переважно використовуються методи зварювання на повороті та лазерного точкового зварювання, тоді як філе-з'єднання застосовується у випадку, коли в конструкції шини є отвір і край отвору потрібно зварити, тому останнє не розглядається для цієї моделювання. Буде проілюстровано операції машини для реалізації з'єднання та багатоточкового зварювання у розглянутому випадку використання. Реалізовано два цикли дії, описані в підрозділах 7.3.1. та 7.3.2., щоб продемонструвати використання нашої машини на різних техніках зварювання. Ті ж наближення, що й попередній випадок використання, розглядалися для SinuTrain верстат і використаний інструмент. Заготовка визначена як кубоїд відповідних розмірів, а на верхній поверхні 266 кіл, що представляють верхні сторони елементів, вирізані через інструмент для різання, щоб мати чіткіше зображення батарейного модуля (рис. 122).

Рисунок 4.29: Представлення заготовки, вигляд ЗВЕРХУ (L), 3D-ВИГЛЯД (R).

Багатоточкове зварювання

Як і в попередньому випадку, потрібно виконати деякі рухи підходу, щоб підняти лазерний інструмент у початкову позицію, після чого можна виконати цикл зварювання для 14 комірок першої колони, ковзаючи вздовж Y- напрямку. Після цього лазерну головку потрібно перемістити на той самий Y- значення, що й початкова точка, змістити вперед у напрямку X, щоб повторити цикл для кожного з 19 стовпців, доки всі елементи не будуть оброблені. У цьому першому випадку клеми кожної комірки приварюється до шини через чотириточковий звар, формуючи кути квадрата, позиціонування якого визначається замовником
У Таблиці 12 цикл дії для обробки кожного стовпця ілюструється за

допомогою інкрементальних значень, використаних у симуляції SinuTrain, та значень швидкості.

Код моделювання реалізовано за допомогою функцій G00 та G01 для позиціонування та лінійної інтерполяції відповідно. Результат симуляції можна побачити на рисунку 123.

Дії	Швидкість [м/хв]	X [мм]	Y [мм]	Z [мм]
ТИСНИ	10	50		
ЗВАРНИЙ ШОВ	1			
ПІДХІДНИЙ ПЛАСТ	2	10	11.3	
ЗВАРНИЙ ШОВ	2			
ПІДХІДНИЙ ПЛАСТ	3	10	11.3	
ШОВ ЗВАРЮВАННЯ	3			
ПІДХІДНИЙ ПЛАСТ	4	10	-11.3	
ЗВАРНИЙ ШОВ	4			
ПІДХІД	ПОСЛІДОВНИЙ ПЛАСТ	1	10	11.7
ВИПУСК	10	-50		

Таблиця 1.11: Цикл дії кількох точкових зварювань.

Час симуляції, зазначений у нижньому правому куті зображення на рисунку 123, включає час на проектування 266 комірок на поверхні заготовки. Оцінка часу симуляції для циклу зварювання була розрахована і відображена з повідомленням; у цьому випадку час обробки становить 415,415 с, що відповідає приблизно 6'55".

Рисунок 4.30: Збільшення результату симуляції.

4.2 Зварювання з'єднанням з'єднання

Для методу з'єднання зварювального шва, що з'єднує термінали з шиною, має круглу форму, радіус якої становить 8 мм, визначається замовником. Оскільки сценарій використання такий самий, як і в попередньому підрозділі, ми можемо помітити, що коло можна описати квадратом, реалізованим за допомогою точкового зварювання.

Таблиця 13 ілюструє цикл дій для зварювання комірок кожної колони за значеннями симуляції SinuTrain.

Дії	Швидкість [м/хв]	X [мм]	Y [мм]	Z [мм]	R [мм]
ТИСНИ	10	50			
ЗВАРНИЙ ШОВ	12		8		
ПІДХІД	ПОСЛІДОВНИЙ ПЛАСТ		10	23	
ВИПУСК	10	-50			

Таблиця 1.12: Цикл дії зварювання зварювань із зварюванням із ЗВАРЮВАННЯМ ІЗ З'ЄДНАННЯМ З'ЄДНАННЯ.

З таблиці 13 можна побачити, що додано ще один стовпець відносно попередніх таблиць; це той, що ідентифікує радіус кола. Зварні шви реалізовані за допомогою команди G02 (або G03) для кругової інтерполяції. Форма командування: G02 (G03) X... Y... I... J... Чорт..., де X і Y представляють координати точки прибуття дуги, і якщо їх немає, це означає, що ми маємо повне коло, тоді як значення I і J означають центр кола і можуть

бути замінені, в деяких випадках, на R... тобто значення радіуса. Інструкція G02 дозволяє спроектувати окружність за годинниковою стрілкою, натомість функція G03 призначена для міжколової інтерполяції проти годинникової стрілки.

На рисунку 124 можна спостерігати отриману симуляцію, і, як і у випадку з кількома плямами, оцінку часу симуляції для циклу обробки можна візуалізувати через повідомлення. За розрахунком результат дає 218,875 с, що відповідає приблизно 3'39".

Рисунок 4.31: Збільшення результату симуляції.

1. Висновки

Дисертаційна робота досліджує деякі рівні розвитку, які потрібно пройти для реалізації промислового продукту, зосереджуючись на ілюстрації методологій, які використовуються для максимальної гнучкості. З проведеної роботи видно, що концепція модульності не відповідає одному кроку, а є сумою всіх виборів, зроблених з метою максимізації універсальності системи. Для досягнення цієї мети на багатьох етапах проекту було застосовано модульний підхід - від вибору компонентів і дизайну макета до вибору програмного середовища та кодування.

Далі були зібрані основні моменти обговорення під час дослідження, що підтверджує кроки, на яких були впроваджені відповідні модульні рішення. Першим модульним вибором стало те, що система реалізована у двох варіантах згаданих Double Croix та Single Croix, щоб охопити ширший спектр використання та охопити більшу кількість клієнтів. Таким чином клієнти можуть обрати між менш об'ємним рішенням, придатним для менших батарей і простіших зварних швів, або більш складною конфігурацією того ж продукту за бажанням враховуючи, що кожна версія має свої переваги та певні переваги для покупця.

Ключовим і інноваційним аспектом цього елемента є можливість інтегрувати до п'яти додаткових груп елементів для кожного дизайну конфігурації. Як широко показано в описі машини, кожна опція додає певні функції продукту, роблячи його адаптованим до різних ситуацій і дозволяючи клієнтам налаштувати машину на свій розсуд. Особливу увагу заслуговує лазерний варіант, який забезпечує використання джерела лазера Soma LHYTE, яке може працювати як з прямим діодом, так і з волоконними лазерними модальностями. Крім того, ця опція дає можливість обрати між трьома різними типами лічильників потужності, які можна легко інтегрувати відповідно до вимог.

Проведено глибоке дослідження зв'язків, встановлених між усіма розглянутими компонентами; Система повинна забезпечити гнізди та простір, необхідні для кабелів, якщо апарат у повній конфігурації. Розміри лотків кабелю були визначені та надмірно наближені, щоб збільшити кількість

елементів. Електрична стійка, як і вся система, реалізована за принципом модульності. Вона зібрана так, що деякі елементи, необхідні для роботи системи, могли бути розібрані або вимкнені, якщо їх не включити до кінцевого продукту. Важливим питанням для створення модульного продукту є також використання модульних пристроїв. З цієї причини пристрій SINUMERIK обрано як ядро системи; вона включає ПЛК, моторні приводи, підмодулі NCK, CP та HMI, забезпечуючи оптимальну сумісність усіх компонентів у автоматизованому заводі. Ще один елемент, розширення числового керування, використовується у поєднанні з SINUMERIK для модульного розширення системи додатковими осями та шпинделями, що дозволяє керувати до 10 осей, 9 з яких використовуються у повній конфігурації Double Croix: 7 лінійних і 2 обертових осей.

У дисертації розглядалися як ввід/вихід, так і електроблоки безпеки; вони вказують на відповідні модулі залежно від їхньої функції та розташування. Обладнання для безпеки та багатофункціональний розподілений блок введення/виведення вбудовані в електричну стійку, а кілька модулів роз'ємів розташовані всередині лазерної комірки. Масштабована структура цих пристроїв дозволяє налаштувати периферійні станції відповідно до потреб.

Окрім впровадження електричної стійки, однією з ключових частин роботи було розробити архітектуру мережі для автоматизованої установки. На цьому етапі роль модулів Scalance була ключовою для масштабованості макету, що дозволило створити надійну архітектуру у формі дерева, в якій деякі штекери комутаторів не використовувалися і залишалися доступними для розширення мережі за потреби. Нарешті, вибір використання TIA Portal як середовища розробки продукту є фундаментальним модульним вибором, оскільки він забезпечує стандартні інтерфейси між усіма елементами автоматизації, що дозволяє інтегрувати їх у унікальний проект. Використання програмного пакету TIA Portal дозволяє скоротити час інженерії та підвищити гнучкість системи.

Ще однією темою, що обговорюється, є рух осей, яким керує модуль CNC. Симуляції, проведені через програмне забезпечення SinuTrain, показали можливий цикл дії, який осі машини можуть виконувати в кількох реальних ситуаціях. Зокрема, робота SinuTrain прагне продемонструвати, що машина може адаптуватися для виконання кількох зварювальних процесів, таких як лінійне, багатоточкове та зварювання, застосоване до Батарейні модулі складаються з різних типів елементів (підсумкових і циліндричних). Враховуючи велику різноманітність форм і розмірів батарейного модуля, цикл руху осей має бути реалізований легко та швидко, відповідно до вимог клієнта. Наступним етапом, який буде затверджений, буде реалізація програмування на основі ПЛК, яка повинна забезпечувати зв'язок із CNC, HMI та всіма залученими компонентами. Проект TIA Portal буде структурований так, щоб спочатку завантажуватися на апаратне забезпечення PLC спрощеного прототипу машини, щоб систему можна було протестувати та правильно модифікувати. Потім, враховуючи образ прототипу, кінцевий продукт буде виконаний, протестований і нарешті випущений на ринок, адаптуючи його відповідно до вимог кожного покупця. Як широко обговорюється у розділі 3, варіанти, які наразі досліджуються для цієї структури, були сплановані так, щоб у майбутньому можна було розширити її завдання, зберігаючи базовий дизайн машини та додаючи нові додаткові групи компонентів. Справді, лазерний інструмент, вивчений для цього першого досягнення машини, розглядається лише як опція, а не як невід'ємна частина базової системи, тому його можна замінити іншими відповідними інструментами з лінійки обробки батарей. Згадувалося, що деякі рішення планують впровадження в системі в майбутньому для розширення можливих процесів, які машина може виробляти:

1. Шпилькове зварювання;
2. зварювання ламелярного статора;
3. Лазерне відпал;
4. Сушіння електродів;
5. Плазмова обробка;
6. Лазерне різання;
7. Облицювання.

Використані джерела

1. ¹⁰ E. Emilsson and L. Dahlöf, "Lithium-Ion Vehicle: Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling..." IVL Swedish Environmental Research Institute, P.O Box 210 60, S100 31 Stockholm, Sweden, 2019.
2. B. Cox and C. Bauer, "The environmental burdens of passenger cars: today and tomorrow," Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland, 2018.
3. Wikipedia, "Accumulatore di carica elettrica," [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_di_carica_elettrica. [Accessed 27 Ottobre 2020].
4. ENEA, "Le batterie al Litio," [Online]. Available: <http://www.uttei.enea.it/veicoli-basso-impatto-ambientale/file-veicoli-basso-impatto-ambientale/le-batterie-allitio>. [Accessed 28 Ottobre 2020].
5. Center for Chemical Process Safety- American Institute of Chemical Engineers, "GUIDELINES FOR ENGINEERING DESIGN FOR PROCESS SAFETY," JOHN WILEY & SONS, New York, NY, Second Edition, 2012.
6. Electropaedia, "Battery and Energy Technologies: Lithium Battery Failures," [Online]. Available: https://www.mpoweruk.com/lithium_failures.htm. [Accessed 27 Ottobre 2020].
7. P. Artuso, "GUIDA TECNICA ALLE BATTERIE IONI DI LITIO," Voltimum, 2017. [Online]. Available: https://www.voltimum.it/sites/www.voltimum.it/files/pdflibrary/li_ion_battery_safety_white_paper_voltimum_ita_r03.pdf. [Accessed 2020 October 28].
8. M. Toll, "What are Parallel and Series connections?," VRUZEND, [Online]. Available: <https://vruzend.com/tech-center/what-are-parallel-and-series-connections/>. [Accessed 28 October 2020].
9. Johnson Matthey Battery Systems, "Our Guide to Batteries," JMBS, Milton Keynes, UK, 2015.
10. Battery University, "BU-301a: Types of Battery Cells," 24 April 2019. [Online]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells. [Accessed 22 November 2020].
11. ¹³ A. Das, D. Li, D. Williams and D. Greenwood, "Joining Technologies for Automotive Battery Systems Manufacturing," World Electric Vehicle Journal, 5 July 2018.
12. I. Manna and J. Dutta Majumdar, "Laser processing of materials," Sadhana 28, p. 495-562, 2003.
13. Wikipedia, "Laser," [Online]. Available: <https://it.wikipedia.org/wiki/Laser>. [Accessed 30 October 2020].

14. W. Pflöging, "A review of laser electrode processing for development and manufacturing of lithium-ion batteries," *Nanophotonics*, vol. VII, no. 3, p. 549- 573, 2018.
15. K. Parker, "Welding with High Power Diode Lasers," Coherent Inc., Santa Clara, CA 95054 USA, 2010.
16. S. Venkat, "Welding with diode lasers," *The Fabricator*, 2008.
17. ⁹A. F. Castro, M. F. Silva and F. J. G. Silva, "Designing a Robotic Welding Cell for Bus Body Frame Using a Sustainable Way," *Procedia Manufacturing*, vol. XI, pp. 207-214, 2017.
18. V. Sousa, F. J. G. Silva, J. S. Fecheira and R. D. S. G. Campil, "A Novel Modular Design of an Equipment to Produce "T"-Profiles by Laser Welding," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 446-453, 2020.
19. ⁵Rosa, F. J. G. Silva, L. Pinto Ferreira and R. Campilho, "SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1034-1042, 2017. ⁵Martins, R. Gordina, C. Pimentel, F. J. G. Silva and J. C. Matias, "A Practical Study of the Application of SMED to Electron-beam Machining in Automotive Industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 647-654, 2018.
20. Servo Vision Co., Ltd. "Linear Units / Robot table," [Online]. Available: <http://www.servovision.com/Cartesian%20ROBOT%20XYZ/Linear%20units.html>. [Accessed 17 November 2020].
21. R. Vaughn, "The Difference between Cartesian, Six-Axis, and SCARA Robots," Bosch Rexroth Corp., Charlotte, N.C., 2013.
22. D. Collins, "When do you need a Gantry Robot?," *Linear Motion Tips*, 2015. [Online]. Available: <https://www.linearmotiontips.com/when-do-you-need-a-gantry-robot/>. [Accessed 16 November 2020].
23. A. Rizzo, Teaching material of the "Robotic" course, Turin: Politecnico di Torino, 2019.
24. Wikipedia, "Programmable Logic Controller," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller#PLC_manufacturers. [Accessed 15 December 2020].
25. W. Bolton, *Programmable Logic Controller*, 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803: Elsevier Newnes (6th revised ed.), 2015.
26. C. Gonzalez, "Engineering Essentials: What Is a Programmable Logic Controller?," *Machine Design*, 2015.
27. ⁸Gwiazda, W. Banas, A. Sekala, K. Fojt, P. Hryniewicz and G. Kost, "Modular industrial robots as the tool of process automation in robotized manufacturing cells," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 95, 2015.
28. K. B. Clark and C. Y. Baldwin, "The Option Value of Modularity in Design: An Example From Design Rules," *Harvard Business School Working Paper*, vol. 1, 2002.
29. B. Moreira, R. M. Gouveia, F. Silva and R. Campilho, "A Novel Concept of Production and Assembly Processes Integration," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1385-1395, 2017.
30. S. Kumar, R. Campilho and F. Silva, "Rethinking modular jigs' design regarding the optimization of machining times," *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 876883, 2019.
31. M. Yim, W.-m. Shen, B. Salemi, D. Rus and M. Mol, "Modular Selfreconfigurable Robot Systems: Challenges and Opportunities for the Future," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2007.
32. ¹²Fukuda and Y. Kawachi, "Cellular robotic system (CEBOT) as one of the realization of self-organizing intelligent universal manipulator," *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, IEEE Xplore, vol. 1, pp. 662-667, 1990.
33. N. Mathew, A. L. Christensen, R. O'Grady, ¹⁴Mondada and M. Dorigo, "Mergeable nervous systems for robots," *Nature communications*, vol. 8, p. 439, 2017.
34. Comau, "e.DO," 2017. [Online]. Available: <https://edo.cloud/it/il-robot/>. [Accessed 20 12 2020].
35. Bosch Rexroth, "Ball Rail Tables," [Online]. Available: <https://www.boschrexroth.com/en/us/products/product-groups/linear-motiontechnology/topics/linear-motion-systems/tkk-ball-rail-table/index>. [Accessed 28 01 2021].
36. Siemens, "SIMOTICS Servomotors," [Online]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/motioncontrol-motors/simotics-s.html>. [Accessed 28 01 2021].
37. Siemens, "SIMATIC Drive Controller," [Online]. Available: https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-drive-controller.html?gclid=Cj0KCQiA3smABhCjARIsAKtrg6lSt7TPhnOAAp9Hvb2_4mCpEQVpC0BPQ4nQHaI5-YxBkT1YS3kn7EaAiU4EALw_wcB. [Accessed 28 01 2021].
38. Comau, "LHYTE Laser Hybrid Technology," [Online]. Available: <https://www.comau.com/en/our-competences/robotics/automation-products/lhyte>. [Accessed 30 01 2021].
39. Primes, "PowerMeasuringModule PMM," [Online]. Available: <https://www.primes.de/en/products/laser-power/briefradiation/powermeasuringmodule-pmm.html>. [Accessed 30 01 2021].
40. Primes, "FocusMonitor FM +," [Online]. Available: <https://www.primes.de/en/products/beam-distribution/focusmeasurement/focusmonitor-fmplus.html>. [Accessed 30 01 2021]. Available:
41. Primes, "BeamControlSystem BCS," [Online]. Available: <https://www.primes.de/en/products/sensors-for-integration-intosystems/beamcontrolsystem-bcs.html>. [Accessed 30 01 2021].
42. Zimmer, "Unità Rotanti Piatte: SERIE DES," [Online]. Available: <https://www.zimmer-group.com/it/tecnologie-componenti/tecnologia-dimanipolazione/moduli-orientabili-e-rotanti/elettrici/moduli-rotanti/serie-des>. [Accessed 30 01 2021].
43. Flir, "FLIR AX8," [Online]. Available: <https://www.flir.it/products/ax8automation/>. [Accessed 30 01 2021].
44. Flir, "FLIR A35," [Online]. Available: <https://www.flir.it/products/a35/>. [Accessed 30 01 2021].
45. Wikipedia, "Apache Cassandra," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Cassandra. [Accessed 07 01 2021].
46. Siemens, "SINUMERIK Intelligent solutions for machine tools," [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:1c809ee66e2d-441d-8df9-3c511c5ac202/dfmc-b10020-00sinumerikdachschriftenus-72.pdf>. [Accessed 02 02 2021].
47. Siemens, "SINUMERIK 840D sl, SINAMICS S120 MIS CNC: NCK, PLC, azionamento. Manuale per la messa in servizio," [Online]. Available:

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/248/25354248/att_5984/v1/IDsl_0310_it_it-IT.pdf. [Accessed 02 02 2021].

7. Siemens, "SIMATIC Industrial Thin Client," [Online]. Available:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10164549>.

[Accessed 01 02 2021].

8. Siemens, "SINUMERIK MCP 398C," [Online]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10337961>.

[Accessed 01 02 2021].

9. Siemens, "SIMATIC IPC427E," [Online]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/it/it/Catalog/Products/10290372>.

[Accessed 01 02 2021].

10. M. Violante, Teaching material of the "Network technologies for mechatronic system" course, Turin: Politecnico di Torino, 2019/20.

11. PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., "PROFINET Design Guideline, Version 1.14," www.profinet.com, Haid-und-Neu-Str. 7, 76131 Karlsruhe, Germany, December 2014.

12. Siemens, SINUMERIK 840D sl, SINAMICS S120, Guidelines for machine configuration, Postfach 48 48, 90026 NÜRNBERG, Germany: Siemens AG, 2013.

13. Wikipedia, "Indirizzo IP," [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Indirizzo_IP. [Accessed 25 02 2021].

14. N. Lewchalermwong, M. Masomtob, V. Lailuck and C. Charoenphonphanich, "Material selection and assembly method of battery pack for compact electric vehicle," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 297, 2018.

15. H. Saariluoma, A. Piironen, A. Unt, J. Hakanen, T. Rautava and A. Salminen, "Overview of Optical Digital Measuring Challenges and Technologies in LaserWelded Components in EV Battery Module Design and Manufacturing," Batteries, MDPI, 2020.