

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет

Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

«_____» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

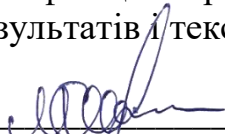
зі спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології,
програми «Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»

на тему: «Система керування активним електроприводом сільськогосподарської
сівалки»

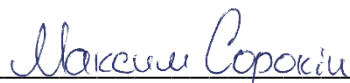
Здобувача групи: СУ.мз-22с

Максима СОРОКІНА

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



(підпис)



(Ім'я ПРИЗВИЩЕ здобувача)

Керівник: завідувач кафедри, к.т.н. Петро ЛЕОНТЬЄВ

(підпис)

Суми – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Сорокіну Максиму Сергійовичу

(Прізвище, ім'я, по-батькові повністю)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система керування активним електроприводом сільськогосподарської сівалки

затверджена наказом ректора СумДУ № 1227-VI від " 6 " листопада 2023 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 15 січня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

ДБН, ДСТУ, ЕСКД, ПУЕ, ПБЕ електроустановок споживачів, наукова література, керівні матеріали до дипломного проектування, довідникова література, матеріали науково-дослідної практики, Інтернет.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):

Аналіз сучасного стану проблеми. Математичне моделювання машинно-тракторного агрегату з активною і пасивною причіпною ланкою в різних режимах і зовнішніх умовах. Вибір обладнання та створення програмного алгоритму керування активним приводом сівалки. Експериментальні дослідження електричного двигуна та системи активного привода сівалки. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічних матеріалів:

1. Актуальність теми. 2. Мета досліджень. 3. Задачі дослідження. 4. Огляд систем активного приводу. 5. Модель руху. 6. Математична модель двигуна. 7. Опис елементів системи. 8. Вибір перетворювача частоти. 9. Вибір програмованого

логічного контролера. 10. Вибір панелі оператора та інших елементів системи. 11. Розробка алгоритму керування. 12. Створення макету системи. 13. Експериментальні дослідження на промисловому зразку. 14. Охорона праці. 15. Загальні висновки по роботі.

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз сучасного стану проблеми	13.10.2023
2	Математичне моделювання машинно-тракторного агрегату з активною і пасивною причіпною ланкою в різних режимах і зовнішніх умовах	20.10.2023
3	Вибір обладнання та створення програмного алгоритму керування активним приводом сівалки	25.10.2023
4	Експериментальні дослідження електричного двигуна та системи активного привода сівалки	2.11.2023
5	Розробка заходів щодо охорони праці під час експлуатації активного привода сівалки	16.11.2023
6	Загальні висновки по роботі	30.11.2023
7	Підготовка до видання та захисту кваліфікаційної роботи	8.01.2024

7. Дата видачі завдання " 6 " листопада 2023 р.

Керівник проекту:

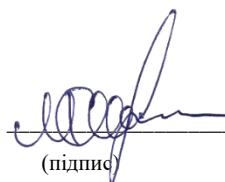
к.т.н., завідувач кафедри
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

(підпис)

Петро ЛЕОНТЬЄВ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач:

студент гр. СУ.мз-22с
(шифр групи)


(підпис)

Максим СОРОКІН
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Підготовлена випускна робота магістра виконано на 97 аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів, 28 рисунків, 26 найменування першоджерел.

Мета роботи: аналіз та розробка оптимальної системи керування активним приводом сільськогосподарських начіпних машин на основі математичного моделювання та за отриманими даними, впровадження найбільш ефективного рішення для створення системи активного приводу машинно-тракторного агрегату сільськогосподарського призначення.

Об'єкт досліджень. Процес керування тяговим електричним двигуном в системах активного приводу.

Методи досліджень. В процесі виконання випускної кваліфікаційної роботи використовувались положення теорії електроприводу, основи теорії регулювання асинхронних, загальні питання математичного моделювання електроприводу, пакети комп'ютерних програм для математичного моделювання та програмування.

Практичне значення одержаних результатів. В результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи розроблено систему автоматичного керування активним приводом на основі серійно виготовлених перетворювачів частоти типу Altivar, програмованого логічного контролеру Modicon та пристрою людино-машинного інтерфейсу. Проведено випробування розробленої системи, яка підтвердила ефективність її застосування в реальних умовах. Проведені експериментальні дослідження на базі Інституту механізації та електрифікації сільського господарства, м. Глеваха, Київська обл.

Ключові слова: активний привод сівалки, електричний двигун, перетворювач частоти, програмований логічний контролер, система автоматичного керування, частотний електропривод.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПДЕ	поновлювальні джерела енергії
МТА	машинно-тракторний агрегат
ПЛК	програмований логічний контролер
ПЧ	перетворювач частоти
ЛМІ	людино-машинний інтерфейс
АД	асинхронний двигун
СД	синхронний двигун
ГУ	генераторна установка
ЕЕ	електрична енергія
АСКТП	автоматизована система керування технологічними процесами
НМІ	human machine interface

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ	12
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З АКТИВНОЮ І ПАСИВНОЮ ПРИЧІПНОЮ ЛАНКОЮ В РІЗНИХ РЕЖИМАХ І ЗОВНІШНІХ УМОВАХ	22
2.1 Математичне моделювання прямолінійного руху МТА по опорній основі яка не деформується	23
2.1.1 Основні допущення.....	23
2.1.2 Рівняння прямолінійного руху МТА.....	24
2.1.3 Моделювання взаємодії рушія з опорною основою	25
2.1.4 Визначення нормальних реакцій під колесами МТА.....	27
2.1.5 Визначення моменту опору коченню.....	29
2.2 Математична модель прямолінійного руху машинно-тракторного агрегату по деформованій опорній поверхні	30
2.2.1 Модель взаємодії колісного рушія з деформованою опорною поверхнею	30
2.2.2 Розрахункова схема і основні допущення	35
2.2.3 Рівняння динаміки прямолінійного руху машинно-тракторного агрегату по деформованій поверхні.....	36
2.3 Математичний опис зв'язків між ланками	38
2.4 Математичне моделювання силової установки	39
2.5 Розрахунок параметрів моделі двигуна і побудова графіків перехідних процесів при регулюванні частоти обертання зміною частоти живлячої напруги.	41
3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ АКТИВНИМ ПРИВОДОМ СІВАЛКИ.....	44
3.1 Основні елементи системи та їх взаємозв'язок.....	44
3.2 Вибір обладнання	44

	7
3.2.1 Вибір перетворювача частоти	44
3.2.2 Вибір програмованого логічного контролера.....	54
3.2.3 Вибір панелі оператора	67
3.3 Розробка програмного алгоритму	76
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА ТА СИСТЕМИ АКТИВНОГО ПРИВОДА СІВАЛКИ	81
4.1 Дослідження електричного двигуна у зв'язці з перетворювачем частоти та енкодером.....	81
4.2 Створення макету системи активного приводу	82
4.3 Встановлення системи активного приводу на посівний комплекс «Златник» виробника «Лозівські машини»	83
5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКТИВНОГО ПРИВОДУ СІВАЛКИ	87
5.1 Заходи безпечної експлуатації електроприводів	87
5.2 Підготовка до роботи електроприводу і порядок його роботи	88
5.3 Заземлення	91
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	95

ВСТУП

Актуальність роботи. Енергетична система України потребує заходів, щодо модернізації направлених на зниження витрат енергоресурсів та поліпшенню умов роботи системи, збереження та збільшення природного капіталу, зменшення забруднення, низькі вуглецеві викиди, зростання доходів і зайнятості.

Споживання первинних енергоресурсів у 2022 р. в країні становило 115,55 т н.е. З них: вугілля – 35,8 %; природний газ – 34,2 %; нафтопродукти – 8,5 %; ядерна енергія – 18,9 %; гідравлічна енергія – 1,0 %. Частка поновлювальних джерел енергії (ПДЕ) у споживанні первинних енергоресурсів становила у 2013 р. 2,7 %., у тому числі біомаса, біопаливо та відходи – 1,3 %. Країна імпортує три чверті нафти й природного газу та 100% ядерного палива, а сьогодні вимушена імпортувати вугілля та електроенергію.

Законодавством України передбачено ряд видів державної підтримки у сфері енергоефективності, яка може надаватися підприємствам: пряме бюджетне фінансування; звільнення від ПДВ, ввізного мита; звільнення частини прибутку від оподаткування; установа спеціального тарифу на електроенергію; надання державних гарантій під кредитні лінії, взяті в кредитних установах. Питанням підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів в Україні приділяється особлива увага. Розроблено велику кількість нормативно правових актів різного рівня (понад 250 актів), відповідними державними актами затверджено ряд заходів, у тому числі і з урахуванням досвіду європейських країн. Україна з 01.02.2011 р. долучилася до Договору про Енергетичне Співтовариство та інших європейських ініціатив, де скорочення питомого споживання енергоресурсів є одним із найважливіших напрямів енергетичної політики.

Поставлене перед людством завдання підтримання екологічної рівноваги ініціює розробки зі зниженню викидів в таких галузях як будівництво, транспорт і енергетика. Стрімке виснаження природних енергоносіїв виводить на перший план завдання пошуку принципово нових способів отримання енергії. Одним з основних напрямків сільського господарства в існуючих тенденціях захисту природи,

спрямованих на вирішення завдання щодо зниження споживання вуглеводнів, є вдосконалення і розширення застосування електричних двигунів в системах активного приводу машинно-тракторних агрегатів.

Забезпеченість сільськогосподарською технікою складає зараз головну проблему для реалізації концепції стійкого розвитку країни, підвищення конкурентоспроможності українського АПК. Тому від рівня оснащеності і застосування інтенсивних машинних технологій залежить вирішення більшості решти проблем АПК. Трактори є основою механізації сільського господарства. Значна частина коштів в сільськогосподарському виробництві припадає на закупку тракторів, і ця тенденція тримається протягом не одного десятиріччя. На трактори затрачається коштів у два рази більше, ніж на зернозбиральні комбайни та у 4-5 разів більше, ніж на окремо взяті посівну, ґрунтообробну чи коренезбиральну техніку.

Основні параметри трактора, його конструкція визначаються перш за все вимогами сільськогосподарського виробництва, які постійно розширюються з урахуванням сфери застосування техніки, умов, особливостей і структури сільського господарства. Розвиток параметрів тракторів йде по шляху збільшення робочої швидкості, підвищення тягового зусилля.

Основні вимоги сільськогосподарського виробництва до конструкції тракторів – це підвищення продуктивності і економічності; забезпечення високої надійності та довговічності; універсалізація; легкість управління; спрощення і здешевлення конструкції; зниження до мінімуму витрат на технічне обслуговування і ремонт; забезпечення мінімальної дії на ґрунт і рослини; забезпечення безпеки використання, створення комфортабельних умов роботи і легкості управління.

Розвиток тракторів підвищеної потужності викликаний застосуванням широкозахватної техніки, зростанням вартості робочої сили, бажанням скоротити терміни сільськогосподарських робіт, понизити матеріальні витрати.

Провідні машинобудівні фірми посилено працюють над проблемою підвищення продуктивності машинних комплексів при зменшенні затрат на їх

використання. В перспективних агротехнологіях все частіше використовуються багатоопераційні агрегати з комбінованими робочими органами. Їх використання забезпечує підвищення продуктивності с/г техніки і її технологічної ефективності, зниження на 30-40% питомої енерго- і матеріаломісткості.

В розвинутих країнах розширяється застосування енергонасичених тракторів, підвищуються робочі швидкості машинно-тракторних агрегатів. Так на посіви вони складають 9-10 км/год; на оранці 8-9 км/год; на збиранні сіна 12-15 км/год; на внесенні добрив 15 км/год (окремі – до 32 км/год). Відповідно, опір високошвидкісних і комбінованих машин при роботі також суттєво зростає. Для забезпечення якісного виконання технологічного процесу необхідне підвищене тягове зусилля, що потребує потужності двигуна трактора близько 40-45 к.с. на один метр захвату.

Специфікою використання деяких сільськогосподарських машин (сівалок, розкидачів добрив) є те що їхня маса зменшується обернено пропорційно об'єму виконаної роботи, збільшена потужність трактора потрібна тільки на початку робіт.

Встановлення системи активного приводу на сільськогосподарські машини дозволяє використовувати трактори зменшеної потужності. Що веде за собою зменшення розмірів трактора а отже і зменшення руйнівної дії на ґрунти, менше споживання палива, менші викиди в атмосферу.

Таким чином активізація приводу причіпної ланки машинно-тракторного агрегату дозволяє зменшити:

- розміри використовуваних тракторів;
- руйнівну дію на ґрунт;
- споживання палива;
- викиди в атмосферу.

Завдяки переліченим вдосконаленням в цілому зменшується і вартість сільськогосподарської продукції.

Для досягнення сформульованої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- Дослідити види активного приводу причіпних ланок сільськогосподарських машин;

- Виконати математичне моделювання тягового електричного двигуна;
- Провести вибір обладнання потрібного для реалізації системи активного приводу машинно-тракторного агрегату;
- Розробити програмний алгоритм керування «Гальваном 3»;
- Провести експериментальне дослідження системи автоматичного керування активним приводом причіпних сільськогосподарських машин;

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ

1.1 Аналітичний огляд способів реалізації приводу коліс причіпних машин сільськогосподарського машинно-тракторного агрегату

Для підвищення прохідності сільськогосподарського машинно-тракторного агрегату (МТА) який складається з трактору та причіпної сільськогосподарської машини (особливо великої вантажопідйомності) застосовують привід коліс причепів і напівпричепів [10]. Причіпні машини з приводом на колеса причепа або напівпричепа отримали назву активних. Внаслідок того, що у МТА з активним причепом кількість ведучих коліс більше, ніж у одиночного повнопривідного автомобіля, прохідність його по «важким» ділянках місцевості значно вище, незважаючи на велику масу і вантажопідйомність. Таким чином, активізація коліс причепа (напівпричепа) не тільки дозволяє поліпшити прохідність МТА в порівнянні з одиночним автомобілем, але і перевершити його, при цьому забезпечити транспортування вантажу більшої маси. Звідси випливає доцільність створення активних сільськогосподарських причіпних машин для особливо важких умов експлуатації.

Привід активних причіпних ланок може бути постійного і періодичного дії. Приводи постійного дії мають відносно мале поширення і застосовуються головним чином на великовантажних багатоланкових МТА. На МТА, який складається з двох ланок зазвичай використовуються приводи періодичної дії (бустерного типу) [7]. За типом трансмісії системи приводу активних осей причіпних ланок поділяють на механічні, гідрооб'ємні і електричні.

Можливі дві конструктивні схеми механічного приводу: з передачею крутного моменту звичайною карданною передачею і через шворінь сидельно-зчіпного пристрою. Істотним недоліком першої схеми є обмеження кута складання між тягачем і напівпричепом гранично допустимими кутами карданних шарнірів (до 45°), що значно погіршує маневрені властивості. Такий привід знаходить широке застосування в активних автопоїздах з одноосьовими тягачами.

Для поліпшення маневреності автопоїздів з передачею крутного моменту карданної передачею британська компанія Multidrive використовує зчпний пристрій з подвійним механізмом зчленування (Рис. 1.1). Для усунення необхідності роботи карданної передачі на критичних кутах введений поворотний стіл заднього візка напівпричепа. Таке зчпний пристрій забезпечує підвищені кути поздовжнього (до $\pm 15^\circ$), поперечної (до $\pm 10^\circ$) і горизонтальної (до $\pm 100^\circ$) гнучкості.



а



б

Рисунок 1.1 - Активні автопоїзди компанії Multidrive: а - танковий транспортер МТМ30-40; б - сільськогосподарська машина М8-40 8x8

Відбір потужності для приводу коліс причіпної ланки при такій схемі здійснюється від заднього моста тягача, який виконується прохідним. Для забезпечення підведення додаткового моменту на задні привідні мости модернізації вимагає також роздавальна коробка тягача.

Як показує досвід компанії Multidrive, такий тип приводу найбільш раціональний для автопоїздів з колісною формулою 8×8 . Недоліком схеми є вразливість елементів приводу причіпної ланки при русі по пересіченій місцевості, а також складність операцій зчпки і розчеплення.

У нашій країні роботи над створенням активних автопоїздів велися з кінця 50-х років. За основу більшості радянських конструкцій був прийнятий механічний привід ведучих коліс напівпричепів від трансмісії буксируючих їх тягачів. Відбір потужності проводився від роздавальної коробки, далі крутний момент

передавався через спеціальний прохідний опорно-зчпний пристрій (ОЗП) і систему кутових (конічних) редукторів і карданних валів на привідні мости напівпричепів.

Відбір потужності в таких конструкціях зазвичай здійснюється від роздавальної коробки тягача. Далі крутний момент передається через спеціальний прохідний опорно-зчпний пристрій і систему кутових (конічних) редукторів і карданних валів на привідні мости напівпричепа, ходова частина яких уніфікована з тягачами (тому загальне передавальне число приводу для причіпної ланки має бути таким же, як і для тягача).

Для включення приводу передбачені дві муфти - одна на коробці відбору потужності, інша перед візком напівпричепа. У звичайних умовах руху обидві муфти вимкнені, в результаті чого немає втрат на «холосте» обертання редукторів. Привід необхідно включити для подолання автопоїздом особливо важких ділянок місцевості, де відбувається рух на знижених передачах. Після проходження цих ділянок привід необхідно відключити для запобігання циркуляції потужності між тягачем і напівприцепом.

Такий тип приводу має такі недоліки:

- застосування нестандартного опорно-зчпного пристрою, який не передбачає можливість розчеплення ланок автопоїзда і заміни причіпного складу;
- значна кількість кутових редукторів і карданних валів, що збільшують масу приводу.
- кінематичні невідповідності при обертанні коліс тягача і причіпного складу і проблеми оптимального перерозподілу необхідних сил тяги та гальмування на кожне колесо автопоїзда.

Широке застосування для активізації коліс причіпних ланок у вітчизняному та зарубіжному автомобілебудуванні знаходить гідрооб'ємний привід. Для активних автопоїздів гідрооб'ємний привід має такі переваги перед механічним [3]:

- стійкість роботи при малих швидкостях і великих навантаженнях;
- зручність компонування агрегатів приводу;
- легкість і простота реверсування (дозволяє виробляти «розкачку» застряглого транспортного засобу);

- надійний захист від перевантажень (за допомогою запобіжних клапанів і обмежувачів тиску).

За даними фірми Sisu автопоїзд, оснащений об'ємною гідравлічною трансмісією, розвиває тягу на 25% вище і долає підйом в 1,5 рази крутіше, ніж без неї [6].

У таких конструкціях гідропривід виконує функції карданних валів, забезпечуючи підвід крутного моменту на ведучі мости причіпної ланки.

Особливістю такого приводу є широке використання стандартних агрегатів. Однак через малу кількість гідроагрегатів (один насос і один мотор) значна частина приводу доводиться на механічні агрегати (головні передачі, диференціали, карданні передачі). При даній схемі компонування для підвищення прохідності повинна бути реалізована можливість блокування міжколісних диференціалів в мостах причіпної ланки автопоїзда.

На сучасному етапі технічного розвитку реалізація гідроприводу відбувається за схемою типу «гідромотор-колесо». В такому випадку гідромотор вбудовується в кожен з рушіїв.

В системі гідроприводу типу «гідромотор-колесо» один гідронасос «обслуговує» кілька гідромоторів. Перевагою такої схеми є можливість реалізації індивідуального приводу коліс причіпної ланки в залежності від умов руху.

Для приводу коліс застосовують гідромотори двох типів: низькообертові високомоментні радіально-поршневі (наприклад, фірм «Sisu» і «Poclain») і високооборотні аксіально-поршневі (фірм «Sundstrand» і «Bosch Rexroth»).

Перевагою радіально-поршневих гідромоторів є можливість передачі великих моментів, що крутять і стійкої роботи під навантаженням при невеликих частотах обертання (7-10 хв⁻¹), що дозволяє спростити конструкцію мотор-колеса, оскільки виключається необхідність в колісному редукторі. Аксіально-поршневі гідромотори мають менший діаметр, ніж радіально-поршневі, тому їх використовують при малому діаметрі маточини колеса. Під навантаженням мінімально стійкі частоти обертання такого гідромотора знаходяться в межах 100-150 хв⁻¹, тому потрібна установка знижувального колісного редуктора.

Особливістю гідрооб'ємної трансмісії є те, що вона працює в досить вузькому діапазоні швидкостей руху машини, що пояснюється робочими процесами об'ємних гідромашин. Швидкісний діапазон роботи гідроприводу лісовоза фірми «Sisu» становить 10% від усього швидкісного діапазону машини. У конструкції трансмісії передбачається блокування системи управління гідрооб'ємної трансмісії, що виключає її роботу на більш високих швидкостях.

Компанія Stronga розробила сільськогосподарський причеп Powertrak (рис.1.2). Система PowerTrak отримує енергію від трактора через потік масла на вимогу через жирові труби зі швидким потоком. Використовуючи контролер у кабіні та потенціометр, оператор має повний контроль тиску масла в діапазоні від 20 до 200 бар з автоматичним вільним ходом вниз 20 бар.



Рисунок 1.2 – Причеп фірми Stronga із системою PowerTrak

Це також означає, що можна використовувати легший трактор з меншими потужністю і споживанням палива, зменшуючи тиск на ґрунт.

Виробник випробував ряд налаштувань, включаючи повний механічний привід, перш ніж встановити гідравлічний привід до передньої осі причепа. Такий вибір для цього проекту зроблений тому, що привідна вісь має найбільше зчеплення, і також тому, що задня вісь часто є направляючою. Система працює з двома та трьома осями на причепі.

Потужність поступає від гідравлічної системи трактора, тому він не буде працювати на тракторах із стандартною установкою в закритому центрі. І завдяки

кількості виробленого тепла інженери встановили додатковий лінійний масляний охолоджувач, щоб уникнути перевантаження заднього кінця трактора.

Це може здатися порівняно простим, але, за словами Stronga, це далеко не універсальна установка. Фактично, кожна установка пристосована до причепа, типу шин, що встановлюються, і тракторів, які збираються його потягнути.

В роботі, він має ступінь автоматичного регулювання швидкості через гідравліку, що визначає навантаження, але є також потенціометр, встановлений у кабіні рис 1.2, що дозволяє водієві регулювати кількість крутного моменту, що передається на вісь.

З міркувань безпеки він також встановлюється у режим холостого ходу, коли швидкість трактора перевищує максимальну швидкість двигуна гідравлічного колеса.

Вісь була створена в 2016 році, і впроваджена на невеликій кількості ферм. Тим не менш, фірма говорить, що вона все ще тестує і налаштовує конструкцію.

Виробник осей BPW також працює над гідравлічною віссю, яку виробники можуть встановити до своїх машин.

Агрегат Agro Drive використовує гідравлічні двигуни (рис 1.3) з радіальним гідравлічним поршневым двоступінчастим двигуном, які розроблені для надання широкого діапазону швидкості при роботі в польових умовах. Як і система Stronga, вони також мають автоматичний режим холостого ходу, який вмикається на більш високих швидкостях.



Рисунок 1.3 – Гідравлічна вісь Agro Drive компанії BPW

Офіційно вісь почне серійно вироблятися з серпня 2019 року, але в Німеччині, Бельгії, Данії та Швеції існує низка попередніх моделей виробництва.

На даний момент з системою працюють кілька відомих виробників, включаючи Hawe, Fliegl, Strautmann і Krone.

BPW повідомляє, що вісь була розроблена таким чином, що гальмівні колодки можуть бути змінені без необхідності розбирати гідравлічний двигун.

Вісь може бути встановлена на ресорних, повітряних та гідравлічних вузлах підвіски та поставляється попередньо з системою контролю тиску в шинах. Також є можливість додавати швидкість, напрямок обертання та датчики ABS.

Використання гідроприводу носить обмежений характер з наступних причин:

- ККД менше, ніж у механічного приводу (внаслідок подвійного перетворення енергії);
- складність експлуатації в умовах низьких температур (для підтримки працездатності необхідно постійно прокачувати робочу рідину, що призводить до великих втрат);
- велика собівартість в порівнянні з механічним приводом;
- обмежена можливість застосування в довгомірних автопоїздах (через великі втрати в трубопроводах).

При створенні колісних машин (до яких відносяться і МТА) найбільш раціональним вважається застосування електричної трансмісії. Електричною називається передача, в якій перетворення силового потоку приводного двигуна машини (ДВЗ) у всьому діапазоні регулювання здійснюється електричним трансформатором крутного моменту. Найпростіший трансформатор складається з двох електричних машин, одна з яких працює в режимі генератора, а інша - в режимі електродвигуна. Якщо в такій передачі встановлені ступінчасті (фрикційно-зубчасті) редуктори або інші механічні розподіляють механізми, то вона називається електромеханічною.

Основні переваги електромеханічної трансмісії:

- характеристика тягового електродвигуна забезпечує реалізацію безступінчастої передачі потужності на колеса і можливість руху на «повзучих швидкостях»;

- значно скорочується кількість механічних елементів трансмісії (відсутні коробка передач і роздавальна коробка, зменшується кількість карданних валів і т.д.);
- легкість реверсування;
- з'являється можливість індивідуального розподілу потужності по колісним рушіїв (КР) відповідно до зовнішніми умовами, в яких вони знаходяться.

Передача електроенергії до тягових електродвигунів (ТЕД) здійснюється значно простіше, ніж механічної енергії за допомогою обертових деталей. Внаслідок цього для транспортних машин з електромеханічної трансмісією не існує обмежень по кількості ланок і числа провідних осей, що дає можливість створення багатоланкових транспортних машин з індивідуальним приводом всіх коліс, що володіють великим зчіпною вагою, вантажопідйомністю і високою прохідністю (Рис. 1.4).



а



б

Рисунок 1.4 - Активні автопоїзда з електричним приводом напівпричепа: а - Терех, транспортер під МБР МХ; б - LeTourneau TC-497

До недоліків електромеханічного приводу причіпних ланок автопоїзда відносяться:

- порівняно висока початкова вартість агрегатів;
- в системах електроприводу відбувається подвійне перетворення енергії, що негативно позначається на загальному ККД системи (становить близько 80%);
- необхідність застосування потужної системи охолодження;

- низька електробезпека.

Для активізації коліс причепа або напівпричепа автопоїзда з тягачем, що володіє серійним приводом, застосовують електричний привід періодичної дії, який використовують при русі на нижчих передачах коробки передач тягача. Для зниження втрат при русі на більш високих передачах необхідно «розривати» кінематичний зв'язок між колесом і ланками редуктора з тяговим електродвигуном.

Електричні трансмісії з приводом постійного дії застосовуються на повнопривідних автопоїздах з великим числом провідних осей. При русі у важких дорожніх умовах або з повним навантаженням всі мотор-колеса реалізують потужність, передану від ДВЗ і генератора, і зчіпні властивості автопоїзда використовуються повністю. При русі таких автопоїздів по дорогах з удосконаленим покриттям і з неповним завантаженням необхідна сила тяги машини значно зменшується. У цих умовах доцільно відключати частину мотор-колес. З урахуванням сучасного розвитку науки і техніки напівпричепа з електричним приводом коліс напівпричепів доцільно створювати для сідельних тягачів з електромеханічної трансмісією, оскільки на автомобілі вже встановлений потужний генератор, а також є можливість використання єдиних (загальних) алгоритмів управління електромеханічної трансмісією автопоїзда.

Компанія Joskin для вирішення проблеми збільшення зчеплення на ґрунті розробила гібридну систему електроприводу, яка посиляє енергію на дві задні вісі своїх тривісних машин.

Ця установка починається з генератора, що перетворює механічну потужність від валу відбору потужності трактора в електричну, що, в свою чергу, приводить в дію електродвигун Schabmueller потужністю 120 кВт.

Потім механічна потужність від двигуна розподіляється між двома задніми осями MAN з використанням звичайних приводних валів. Для подальшого поліпшення тяги, осі оснащені блокуванням диференціалу і є можливість віддаленої системи накачування шин (рис. 1.5).

Керованість досягається завдяки лінії Isobus між трактором і агрегатом, який автоматично управляє потужністю, що передається електричному двигуну, без будь-якого входу від водія.



Рисунок 1.5 – Система електричного приводу компанії Joskin

Joskin вказує здатність приводу краще працювати на ґрунтах, а також що система дозволяє використовувати менш потужний та більш легший трактор, зменшуючи використання палива та тиск на ґрунт. Це пояснюється тим, що більше не потрібно мати додаткову вагу, що навантажується на трактор, щоб отримати зчеплення, так як реалізовані колеса виконують велику частину роботи.

Висновок по розділу 1

В результаті огляду проблеми було поставлено наступні задачі:

- Дослідити види активного приводу причіпних ланок сільськогосподарських машин;
- Виконати математичне моделювання тягового електричного двигуна;
- Розробити програмний алгоритм керування «Гальваном 3»;
- Провести експериментальне дослідження системи автоматичного керування активним приводом причіпних сільськогосподарських машин;

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З АКТИВНОЮ І ПАСИВНОЮ ПРИЧІПНОЮ ЛАНКОЮ В РІЗНИХ РЕЖИМАХ І ЗОВНІШНІХ УМОВАХ

Як зазначається в [11], математичною моделлю (ММ) називають сукупність математичних об'єктів (чисел, символів, множин і т.д.) і зв'язків між ними, що відображають найважливіші властивості проєктованого технічного об'єкта. В рамках імітаційного математичного моделювання процес руху колісної машини вимагає розробки розрахункової динамічної схеми для математичного опису системи; вибору методу реалізації на ЕОМ; розробки алгоритмів і програм розрахунків; чисельного дослідження на ЕОМ.

ММ доцільно виконувати складається з деякого набору моделей підсистем, які можна виділити, використовуючи принцип ізолювання і незалежності. Об'єднання підсистем повинно проводитися за допомогою певної розрахункової схеми, яка розробляється на основі всебічного аналізу конструкції і з урахуванням всієї сукупності факторів, що впливають на процес руху МТА.

Відомі два різних класи ММ руху КМ для вирішення завдань прямолінійною динаміки: з урахуванням системи підресорювання [10, 75] і без урахування цієї системи [64, 70]. У першому випадку враховується динаміка не підресорених елементів ходової системи, нелінійність характеристик пружних і демпфуючих елементів. Такого роду моделі ефективні при дослідженні динаміки КМ як при русі по нерівностях, так і по рівному опорній основі. Другий клас моделей розглядає рух КМ як твердого тіла. Ці моделі придатні для дослідження руху КМ по рівній опорній основі. Для реалізації цих моделей не потрібно додаткової інформації про характеристики системи підресорювання, пружних і демпфуючих характеристиках шин і т.д.

У зв'язку з цим, для дослідження ефективності законів розподілу потужності між ланками МТА доцільно використовувати моделі руху автомобіля без урахування вертикальних коливань, оскільки це дозволяє, з одного боку, в повному обсязі вирішити завдання, пов'язані з динамікою прямолінійного руху по рівній

опорній основі в різних умовах і режимах, а з іншого, домогтися поліпшення показників опорної прохідності, не звертаючись до додаткової інформації про інших системах автомобіля, якій розробник, найчастіше, не має.

2.1 Математичне моделювання прямолінійного руху МТА по опорній основі яка не деформується

2.1.1 Основні допущення

Побудова математичної моделі руху МТА розглянуто на прикладі двовісного трактора з індивідуальним приводом коліс і активного тривісного напівпричепа.

Прийнято наступні основні допущення:

- розглядається прямолінійний рух МТА по рівній опорній основі;
- система симетрична щодо поздовжньої осі МТА, тобто умови руху лівого і правого бортів однакові;
- колеса одного борта також знаходяться в однакових умовах.

В даному випадку при рівності навантажень під колесами лівого і правого бортів МТА замість просторової можна скористатися більш простою плоскою розрахунковою схемою, яка представлена на рис. 2.1.

Це дозволить спростити модель і прискорить час розрахунків. Однак, якщо поставлено завдання дослідити рух МТА з різними умовами під кожним бортом, то математична модель використовується в вихідному варіанті з окремими рівняннями динаміки для кожного колеса.

В якості початку координат для кожної з ланок обрана проекція центру мас на опорну поверхню (точки O_1 і O_2 для трактора і напівпричепа, відповідно), вісь X паралельна опорній поверхні і спрямована в бік руху, вісь Z - перпендикулярна опорній поверхні.

2.1.2 Рівняння прямолінійного руху МТА

Рівняння динаміки МТА з активним напівпричепом:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \dot{V}_1 = 2 \cdot \sum_{i=1}^4 R_{xi} - G_1 \cdot \sin \alpha - P_w - P_{kpx}; \\ m_2 \cdot \dot{V}_2 = 2 \cdot \sum_{i=5}^7 R_{xi} - G_2 \cdot \sin \alpha + P_{kpx}; \\ J_{ki} \cdot \dot{\omega}_{ki} = M_{ki} - R_{xi} \cdot r_{di} - M_{fi}. \end{cases} \quad (2.1)$$

Рівняння динаміки МТА з пасивним напівпричепом:

$$\begin{cases} m_2 \cdot \dot{V}_2 = -2 \cdot \sum_{i=5}^7 R_{xi} - G_2 \cdot \sin \alpha + P_{kpx}; \\ J_{ki} \cdot \dot{\omega}_{ki} = R_{xi} \cdot r_{di} - M_{fi}. \end{cases} \quad (2.2)$$

У системах рівнянь (2.1) і (2.2) прийняті наступні позначення:

$i = 1 \dots 7$ - номер осі МТА;

m_1 і m_2 - маса трактора і напівпричепи, відповідно;

\dot{V}_1 і \dot{V}_2 - поздовжнє прискорення центру мас трактора і напівпричепи, відповідно;

R_{xi} - поздовжня реакція коліс i -ої осі МТА з опорною основою;

G_1 і G_2 - вага трактора і напівпричепи, відповідно;

J_{ki} - момент інерції коліс i -ої осі;

$\dot{\omega}_{ki}$ - кутове прискорення коліс i -ої осі;

M_{ki} - крутний момент, що підводиться до коліс i -ої осі;

r_{di} - відстань від осі i -го колеса до опорної основи (прийнято рівним радіусу чистого кочення);

α - кут нахилу опорної поверхні;

P_{kpx} - поздовжня складова сили в ОЗП;

P_w - сила опору повітря;

M_{fi} - момент опору коченню коліс і-ої осі.

2.1.3 Моделювання взаємодії рушія з опорною основою

Для визначення поздовжньої реакції R_x можна скористатися наступною залежністю:

$$R_{xi} = \varphi_i \cdot R_{zi}, \quad (2.3)$$

де R_{zi} - нормальна реакція в зоні контакту коліс і-ої осі з опорною поверхнею;

φ_i - коефіцієнт взаємодії коліс і-ої осі з опорної поверхнею, що визначає тягове зусилля в зоні контакту.

В реальних умовах руху коефіцієнт взаємодії колеса з опорним підставою залежить від багатьох факторів. В [14] доведено, що для недеформованої опорної основи залежність коефіцієнта взаємодії від коефіцієнта буксування S_{σ} може бути визначена наступним виразом:

$$\varphi_i = \varphi_{x100\%} \cdot \left(1 - e^{-\frac{S_{\sigma i}}{S_0}} \right) \cdot \left(1 + e^{-\frac{S_{\sigma i}}{S_1}} \right), \quad (2.4)$$

де $S_{\sigma i}$ - коефіцієнт буксування коліс і-ої осі;

$\varphi_{x100\%}$ - коефіцієнт сили зчеплення колеса з опорною поверхнею при 100% буксуванні;

S_0 і S_1 - коефіцієнти, що визначають вигляд кривої $\varphi(S_{\sigma})$.

Коефіцієнт буксування в загальному вигляді (для можливості дослідження динаміки при всіх відомих режимах кочення колеса) визначається за такою залежністю:

$$S_{\sigma i} = \frac{|V_x - \omega_{ki} \cdot r_{k0i}|}{\max(V_x, \omega_{ki}, r_{k0i})}, \quad (2.5)$$

де V_x - швидкість центру мас;

ω_{ki} - кутова швидкість коліс і-ої осі;

r_{k0i} - радіус «чистого» (без ковзання) кочення коліс і-ої осі.

Математична модель дозволяє варіювати вихідні параметри для опису характеристик опорної основи з метою вивчення поведінки об'єкта в заданих зовнішніх умовах. Дослідження руху МТА відбувалося на двох характерних типах опорної основи (рис. 2.1):

- з високим коефіцієнтом зчеплення ($\varphi_{x100\%} = 0,6$; $S_0 = 0,09$; $S_1 = 0,3$);
- з низьким коефіцієнтом зчеплення ($\varphi_{x100\%} = 0,1$; $S_0 = 0,08$; $S_1 = 0,4$).

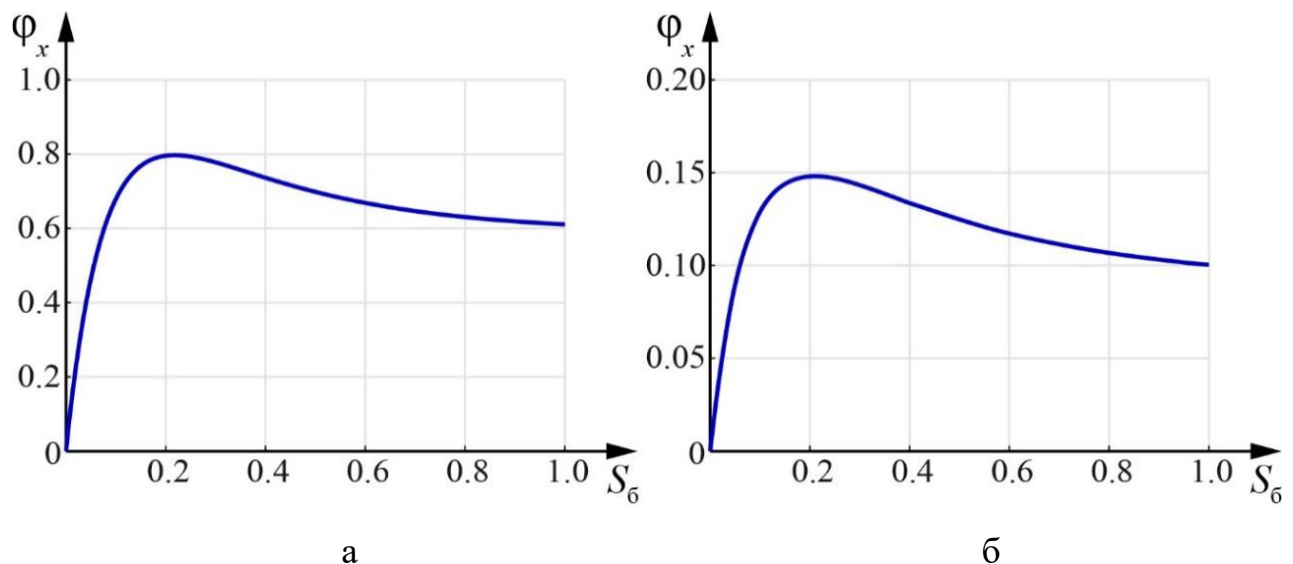


Рисунок 2.1 – Залежності $\varphi(S_{\sigma})$: а - $\varphi_{x100\%} = 0,6$; б - $\varphi_{x100\%} = 0,1$.

2.1.4 Визначення нормальних реакцій під колесами МТА

Нормальні реакції, що виникають при взаємодії коліс трактора з опорною основою, можна визначити за допомогою системи рівнянь (2.7).

Перше рівняння отримано з умови рівності суми нормальних реакцій вазі машини. Для МТА до ваги трактора додається вертикальна складова навантаження на ОЗП. Друге рівняння отримано з умови рівності моментів, що діють на МТА відповідно до утвореного прискорення. Решта рівнянь отримані з припущення, що кінці векторів нормальних реакцій лежать в одній площині, коли система є статично збалансованою або у рівновазі. Це означає, що сума сил та моментів навколо будь-якої точки дорівнює нулю. Такі умови забезпечують стійкість та утримання системи в рівновазі.:

$$\theta_1 \cdot k_1 = \frac{R_{z2} - R_{z1}}{x_{k1} - x_{k2}} = \frac{R_{z3} - R_{z1}}{x_{k1} - x_{k3}} = \frac{R_{z4} - R_{z1}}{x_{k1} - x_{k4}}, \quad (2.6)$$

де θ_1 - кут диференту корпусу трактора;

k_1 - жорсткість пружних елементів підвіски трактора;

x_{ki} - координата коліс i -ої осі щодо центру мас трактора.

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot \sum_{i=1}^4 R_{zi} - P_{kpz} = G_1 \cdot \cos \alpha; \\ 2 \cdot \sum_{i=1}^4 R_{zi} \cdot (x_{ki} + f_i \cdot r_{k0i}) + (P_w + P_{ax1} + G_1 \cdot \sin \alpha) \cdot h_{c1} + P_{kpx} \cdot (h_{kp0} - l_{kp1}) = 0; \\ \frac{(R_{z2} - R_{z1})}{k_1} = (x_{k1} - x_{k2}) \cdot \theta_1; \\ \frac{(R_{z3} - R_{z1})}{k_1} = (x_{k1} - x_{k3}) \cdot \theta_1; \\ \frac{(R_{z4} - R_{z1})}{k_1} = (x_{k1} - x_{k4}) \cdot \theta_1, \end{array} \right. \quad (2.7)$$

де P_{kpz} - вертикальна складова навантаження на ОЗП;

h_{c1} - висота центру мас трактора;

P_{ax1} - сила інерції трактора ($P_{ax1} = m_1 \cdot \dot{V}_1$);

l_{kp1} - відстань від центру мас трактора до ОЗП;

h_{kp} - відстань від опорної поверхні до ОЗП по осі Z.

Аналогічно визначаються нормальні реакції, що діють на колеса напівпричепа:

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot \sum_{i=5}^7 R_{zi} + R_{kpz} = G_2 \cdot \cos \alpha; \\ 2 \cdot \sum_{i=5}^7 R_{zi} \cdot (x_{ki} + f_i \cdot r_{k0i}) + R_{kpz} \cdot l_{kp2} + (P_{ax2} + G_2 \cdot \sin \alpha) \cdot h_{c2}; \\ R_{kpz} = (l_{kp2} \cdot \theta_2 - l_{kp1} \cdot \theta_1) \cdot k_{CY}; \\ \frac{(R_{z6} - R_{z5})}{k_2} = (x_{k5} - x_{k6}) \cdot \theta_2; \\ \frac{(R_{z7} - R_{z5})}{k_2} = (x_{k5} - x_{k7}) \cdot \theta_2, \end{array} \right. \quad (2.8)$$

де R_{kpz} - нормальна реакція від ОЗП;

h_{c2} - висота центра ваги напівпричепа;

P_{ax2} - сила інерції напівпричепа;

l_{kp2} - відстань від центру мас напівпричепа до ОЗП;

k_2 - жорсткість пружних елементів підвіски напівпричепа.

При вирішенні систем рівнянь (2.7) і (2.8) враховується можлива неузгодженість кутів диференту корпусів трактора і напівпричепа (θ_1 і θ_2 , відповідно).

2.1.5 Визначення моменту опору коченню

Момент опору коченню коліс визначається за залежністю:

$$M_{fi} = f_i \cdot R_{zi} \cdot r_{k0i}, \quad (2.9)$$

де f_i - коефіцієнт опору коченню i -го колеса;

Невизначеними в рівнянні є f_i і r_{k0i} , які залежать від нормального навантаження R_z і крутного моменту M_k . З достатньою для практики точністю можна прийняти два припущення:

1) для колеса в підпорядкованому режимі за умови, що $r_{кв}$ визначається в зоні робочих для даної шини тисків повітря і навантажень, може бути використана емпірична формула [80]:

$$r_{квi} = r_c - \gamma \cdot \sqrt{R_{zi}} / (1 + p_w), \quad (2.10)$$

де r_c - вільний радіус колеса;

γ - константа, що залежить від моделі шини;

p_w - внутрішній тиск повітря в шині.

2) в привідному режимі r_{k0} визначається по залежності:

$$r_{k0i} = r_{квi} - \lambda_M \cdot M_{ki}, \quad (2.11)$$

де λ_M - коефіцієнт тангенціальної еластичності шини ($\lambda_M = 10^{-6}$).

Опір коченню ведучого колеса зростає пропорційно квадрату крутного моменту і швидкості. Додаткові втрати від переданого моменту визначаються по залежності, запропонованої в [67]:

$$f_i = \frac{f_0 + \lambda_M \cdot M_{ki}^2}{(R_{zi} \cdot r_{k0i} \cdot r_{k0i})}, \quad (2.12)$$

де f_0 - коефіцієнт опору коченню в підпорядкованому режимі (в розрахунках прийнятий рівним $f_0 = 0,02$).

Зміна коефіцієнта опору коченню від швидкості не суттєво при швидкостях руху до 30 м/с, тому в даному випадку ним можна знехтувати. Графік зміни коефіцієнта опору коченню від крутного моменту (при фіксованому значенні вертикального навантаження), отриманий по залежності (2.12), представлений на рисунку 2.2.

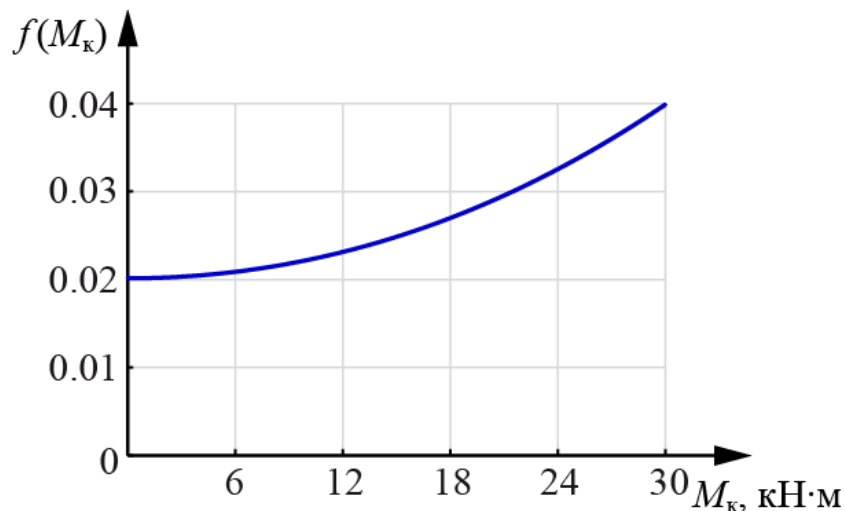


Рисунок 2.1 – Залежність коефіцієнту опору коченню від крутного моменту

2.2 Математична модель прямолінійного руху машинно-тракторного агрегату по деформованій опорній поверхні

2.2.1 Модель взаємодії колісного рушія з деформованою опорною поверхнею

Взаємодія колісного рушія з деформованою опорною поверхнею моделюється з використанням експериментальних інтегральних характеристик,

отриманих за результатами стендових випробувань, що запропоновано і апробовано в [58]. Перевагою такого підходу є відсутність формалізації ґрунтової основи з якої-небудь відомої емпіричної теорії, повне визначення якої вимагає досить великого набору експериментальних даних, і не завжди дає високу збіжність результатів розрахунків і натурних експериментів.

При використуваному підході характеристики процесу прямолінійного кочення колеса в різних випадках руху визначаються: питомими втратами енергії f_w (втрати енергії при коченні на одиницю пройденого колесом шляху при одиничному вертикальному навантаженні); питомою вільною тягою ϕ (поздовжня сила, прикладена до осі колеса що котиться, при одиничному вертикальному навантаженні на його вісь); коефіцієнтом буксування:

$$S_{\phi} = \frac{\omega_k \cdot r_{kc} - V_{xk}}{\omega_k \cdot r_{kc}} = 1 - \frac{r_k}{r_{kc}} \quad (2.13)$$

де ω_k - кутова швидкість обертання колеса;

r_{kc} - радіус колеса у вільному режимі кочення;

r_k - радіус кочення колеса ($r_k = V_{xk} / \omega_k$);

V_{xk} - швидкість центру мас колеса в напрямку осі X.

При проведенні експериментальних досліджень для отримання характеристик взаємодії рушія з опорною поверхнею необхідно визначати величини, що входять в рівняння енергетичного балансу, суть якого полягає в тому, що підводиться енергія до колеса, що рівномірно котиться витрачається на здійснення роботи поздовжньою силою і на втрати при взаємодії з опорним підставою:

$$M_k \cdot \omega_k = P_x \cdot V_{xk} + f_w \cdot P_z \cdot V_{xk}, \quad (2.14)$$

де M_k - крутний момент, що підводиться до осі колеса;

P_x - поздовжня сила, що діє на вісь колеса;

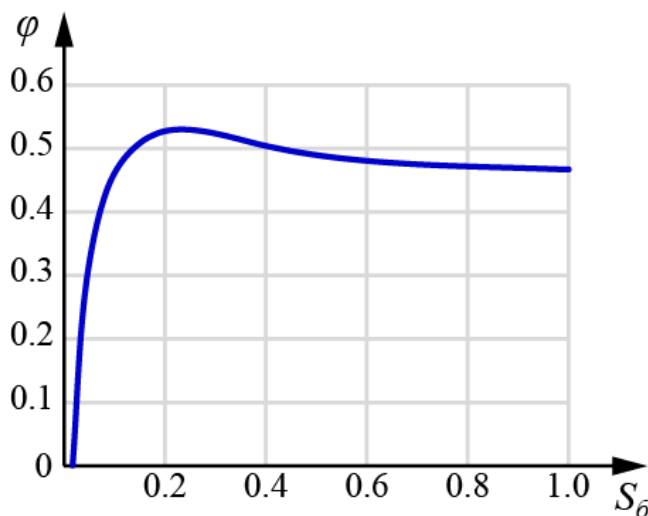
P_z - вертикальна сила, що діє на вісь колеса.

За умовою проведення експерименту $P_x = R_x$, а $P_z = R_z$, де R_x - поздовжня реакція при взаємодії колеса з опорною поверхнею; R_z - вертикальна реакція в зоні контакту колеса з опорною поверхнею. З урахуванням цього вираз для визначення питомих енергетичних втрат можна представити у вигляді:

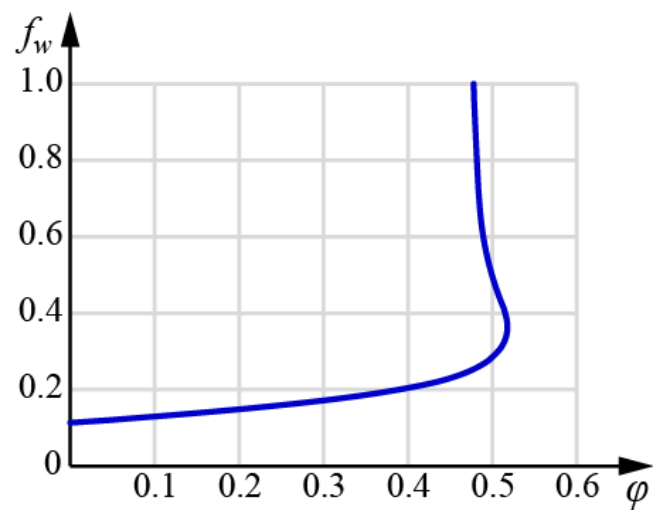
$$f_w = \frac{M_k}{P_z} \cdot \frac{\omega_k}{V_{xk}} - \frac{P_x}{P_z} = \frac{M_k}{P_z} \cdot \frac{\omega_k}{V_{xk}} - \varphi. \quad (2.15)$$

Величини, що входять в праву частину рівняння (2.15), визначаються в процесі експерименту.

Експериментальні дослідження, як зазначається в, повинні проводитися в різних швидкісних режимах (для обліку реології опорної поверхні) і різній кількості проходів колеса по колії. Результати випробувань представляються у вигляді тягово-енергетичних $f_w = f(\varphi)$ і тягово-зчіпних $\varphi = f(S_\sigma)$ характеристик. У моделі використані характеристики для шини 1600x600-685 (Рис. 2.3), представлені в.



а



б

Рисунок 2.3 - Експериментальні характеристики взаємодії колеса з деформованим ґрунтом: а - тягово-зчіпна; б - тягово-енергетична

З малюнка 2.3 видно, що рух можливий тільки з певним обмеженим значенням тяги. З ростом буксування тяга перестає збільшуватися, і вся енергія двигуна витрачається на подолання зростаючої сили опору руху.

Методика використання експериментальних характеристик при імітаційному моделюванні прямолінійною динаміки одиночного колеса розглянута в. Розрахункові схеми одиночного колеса в провідному і відомому режимах представлені на рисунку 2.4.

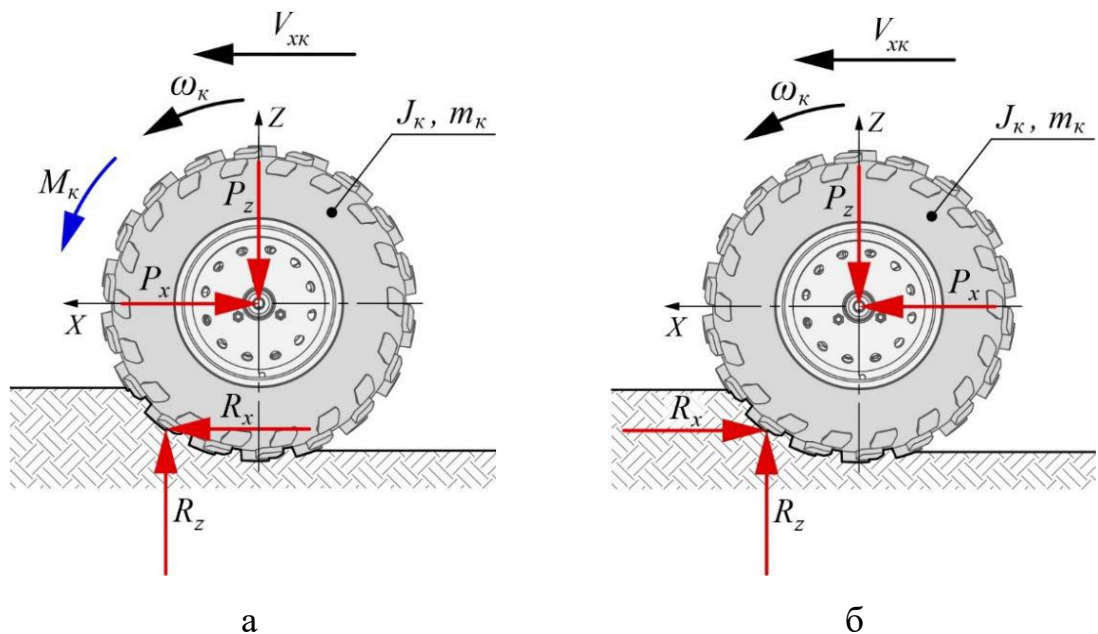


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема руху колеса по деформованій опорній поверхні: а – ведучий режим; б – відомий режим

Динаміка колеса в провідному режимі за відсутності вертикальних переміщень ($P_z = R_z$) описується наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} m \cdot \dot{V}_{xk} = R_x - P_x; \\ J_k \cdot \dot{\omega}_k = M_k - M(R_z) - M(R_x). \end{cases} \quad (2.16)$$

В системі рівнянь (2.16) P_x і M_k вважаються заданими. Для визначення сили R_x скористаємося залежністю:

$$R_x = \varphi \cdot R_z. \quad (2.17)$$

Для визначення моментів опору руху $M(R_z)$ і $M(R_x)$ використовуємо рівняння енергетичного балансу (2.14), звідки, враховуючи, що рух рівномірний:

$$M(R_z) + M(R_x) = M_k = (f_w + \varphi) \cdot P_z \cdot V_{xk} / \omega_k. \quad (2.18)$$

Таким чином, невідомий момент в правій частині рівняння визначається залежностями $f_w = f(\varphi)$ та $\varphi = f(S_{\delta})$.

Остаточно рівняння динаміки одиночного колеса можуть бути представлені в наступному вигляді:

$$\begin{cases} m \cdot \dot{V}_{xk} = \varphi \cdot P_z - P_x; \\ J_k \cdot \dot{\omega}_k = M_k - (1 - S_{\delta}) \cdot (\varphi + f_w) \cdot P_z \cdot r_{kc}. \end{cases} \quad (2.19)$$

При заданих значеннях P_z , P_x і M_k , а також при відомих залежностях для f_w і φ , система рівнянь (2.19) придатна для імітаційного математичного моделювання з використанням експериментальних характеристик взаємодії рушія в привідному режимі з опорною поверхнею.

У даній роботі описаний підхід до моделювання взаємодії рушія в привідному режимі з деформованою опорною поверхнею поширений також на випадок веденого режиму. Зроблено припущення про те, що при визначенні коефіцієнта буксування (юз) при коченні веденого колеса в разі бульдозерного витіснення ґрунту можна скористатися залежність для гальмівного режиму кочення:

$$S_{\delta} = \frac{V_{xk} - \omega_k \cdot r_{kc}}{V_{xk}} = 1 - \frac{r_{kc}}{r_k}. \quad (2.20)$$

Відповідно система рівнянь для кочення колеса в підпорядкованому режимі:

$$\begin{cases} m \cdot \dot{V}_{xk} = P_x - \varphi \cdot P_z; \\ J_k \cdot \dot{\omega}_k = \frac{(\varphi - f_w) \cdot P_z \cdot r_{kc}}{1 - S_{\delta}}. \end{cases} \quad (2.21)$$

2.2.2 Розрахункова схема і основні допущення

Створена імітаційна математична модель руху МТА призначена для дослідження можливостей прохідності МТА при різних законах розподілу потужності між трактором і причіпною ланкою. У математичній моделі зроблені наступні основні допущення:

- розглядається прямолінійний рух МТА по рівній деформованій опорній поверхні;
- система симетрична щодо поздовжньої осі МТА, тобто умови руху лівого і правого бортів однакові;
- колеса одного борта також знаходяться в однакових умовах;
- зв'язок коліс з кузовом для обох ланок МТА у вертикальній площині розглядається як жорсткий, тобто без урахування пружних властивостей підвіски;
- враховується тільки поздовжня податливість напрямних елементів підвіски як трактора, так і напівпричепа;
- колесо розглядається як жорстка крутильна маса з коефіцієнтом взаємодії з опорною поверхнею, представленим на рисунку 2.3.
- деформація ґрунту задається не через його безпосередні фізичні характеристики, а як питомі втрати енергії при коченні колеса по рівній основі;
- дані стаціонарних режимів переносяться на дослідження несталих режимів кочення рушіїв.

Побудова математичної моделі руху МТА розглянуто на прикладі двовісного трактора з індивідуальним приводом коліс і тривісного напівпричепа в активному або пасивному режимі.

В якості початку координат для кожного з ланок обрана проекція центру мас на лінію, що сполучає центри коліс (точки O_1 і O_2 для трактора і напівпричепа, відповідно), вісь X паралельна опорній поверхні і спрямована в бік руху, вісь Z - перпендикулярна опорній поверхні.

2.2.3 Рівняння динаміки прямолінійного руху машинно-тракторного агрегату по деформованій поверхні

Рівняння динаміки трактора:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \dot{V}_1 = 2 \cdot \sum_{i=1}^4 P'_{xi} - G_1 \cdot \sin \alpha - P_w - P_{kpx}; \\ m_1 \cdot \dot{V}_1 = 2 \cdot \sum_{i=1}^4 P'_{xi} - G_1 \cdot \sin \alpha - P_w - P_{kpx}; \\ m_{ki} \cdot \dot{V}_{xki} = \varphi_i \cdot R_{zi} - P'_{xi} - m_{ki} \cdot g \cdot \sin \alpha, \end{cases} \quad (2.22)$$

де P'_{xi} - поздовжня складова сили, що діє на корпус трактора з боку коліс i -ої осі;

g - прискорення вільного падіння.

Рівняння динаміки для активного і пасивного напівпричепа представлені в системах (2.23) і (2.24), відповідно:

$$\begin{cases} m_2 \cdot \dot{V}_2 = 2 \cdot \sum_{i=5}^7 P'_{xi} - G_2 \cdot \sin \alpha + P_{kpx}; \\ J_{ki} \cdot \dot{\omega}_{ki} = M_{ki} - (1 - S_{\sigma i}) \cdot (f_{wi} + \varphi_i) \cdot R_{zi} \cdot r_{kc}; \\ m_{ki} \cdot \dot{V}_{xki} = \varphi_i \cdot R_{zi} - P'_{xi} - m_{ki} \cdot g \cdot \sin, \end{cases} \quad (2.23)$$

$$\begin{cases} m_2 \cdot \dot{V}_2 = P_{kpx} - 2 \cdot \sum_{i=5}^7 P'_{xi} - G_2 \cdot \sin \alpha; \\ J_{ki} \cdot \omega_{ki} = (\varphi_i - f_{wi}) \cdot R_{zi} \cdot r_{kc} / (1 - S_{\delta i}); \\ m_{ki} \cdot \dot{V}_{xki} = P'_{xi} - \varphi_i \cdot R_{zi} - m_{ki} \cdot g \cdot \sin \alpha. \end{cases} \quad (2.24)$$

Поздовжня складова сили, що діє на корпус тягача з боку коліс по осі X:

$$P'_{xi} = (X_{ki} - L_{ki}) \cdot k_{\Pi} + (V_{xki} - V_1) \cdot B_{\Pi}, \quad (2.25)$$

де k_{Π} - коефіцієнт жорсткості підвіски в поздовжньому напрямку;

B_{Π} - коефіцієнт демпфірування підвіски в поздовжньому напрямку;

X_{ki} - відстань від центру мас до і-ої осі коліс;

L_{ki} - відстань від центру мас до точки кріплення підвіски по осі X;

V_{xki} - швидкість коліс і-ої осі;

V_1 - швидкість центру мас трактора.

Аналогічно визначаються сили, що діють на корпус активного напівпричепа, а для пасивної ланки залежність (2.25) приймає наступний вигляд:

$$P'_{xi} = (L_{ki} - X_{ki}) \cdot k_{\Pi} + (V_2 - V_{xki}) \cdot B_{\Pi}, \quad (2.26)$$

де V_2 - швидкість центру мас напівпричепа.

Нормальні реакції в зоні контакту коліс і-ої осі з опорною поверхнею визначаються наступною залежністю:

$$R_{zi} = P'_{zi} + 2 \cdot m_{ki} \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (2.27)$$

де P'_{zi} - нормальна складова сили, що діє на корпус трактора з боку коліс і-ої осі.

При розрахунку вертикальних реакцій враховується можлива неузгодженість кутів диференту корпусів трактора і напівпричепа.

P'_{zi} визначаються за допомогою системи рівнянь (2.28), складеної аналогічно системі (2.7).

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot \sum_{i=1}^4 P'_{zi} = (G_1 - 8 \cdot m_{k1} \cdot g) \cdot \cos \alpha + P_{kpz}; \\ 2 \cdot \sum_{i=1}^4 P'_{zi} \cdot L_{ki} + (P_w + P_{ax1} + (G_1 - 8 \cdot m_{ki} \cdot g) \cdot \sin \alpha) \cdot h'_{c1} + \\ + P_{kpz} \cdot l_{kp1} + p_{kpx} \cdot (h_{kp1} - l_{kp1} \cdot \theta_1) + \sum_{i=1}^4 M_{Ci} = 0; \\ (P'_{z2} - P'_{z1}) / k_1 = (L_{k1} - L_{k2}) \cdot \theta_1; \\ (P'_{z3} - P'_{z1}) / k_1 = (L_{k1} - L_{k3}) \cdot \theta_1; \\ (P'_{z4} - P'_{z1}) / k_1 = (L_{k1} - L_{k4}) \cdot \theta_1; \end{array} \right. \quad (2.28)$$

де h'_{c1} - відстань по осі Z від осі коліс трактора до центра ваги трактора;

h_{kp1} - відстань від осі коліс трактора до ОЗП по осі Z;

M_{Ci} - момент опору руху, приведений до i-ої осі.

Момент опору руху визначається наступним співвідношенням:

$$M_{Ci} = (1 - S_{oi}) \cdot (f_{wi} + \varphi_i) \cdot R_{zi} \cdot r_{kc}. \quad (2.29)$$

2.3 Математичний опис зв'язків між ланками

Подовжню складову зв'язку у вузлі зчленування запропоновано вважати пружнодемпфіруючою. Відомо, що абсолютно жорсткий або кінематичний характер зв'язку накладають на модель ряд обмежень, найбільш важливим з яких є необхідність повної зміни математичної моделі в разі додавання одного або декількох ланок.

Реалізація пружнодемпфіруючого зв'язку досягається наступним чином: МТА умовно розривається в вузлі зчленування, на кожній ланці відкинута секція замінюється відповідними силами і моментами.

Динаміка трактора і напівпричепа розглядається окремо.

При моделюванні прямолінійною динаміки МТА поздовжня складова навантаження в ОЗП обчислюється за такою залежністю [18]:

$$P_{kpx} = (X_{C1} - X_{C2}) \cdot k_0 + (V_1 - V_2) \cdot B_0, \quad (2.30)$$

де k_0 - коефіцієнт жорсткості ОЗП в поздовжньому напрямку;

B_0 - коефіцієнт опору демпфера ОЗП в поздовжньому напрямку;

X_{C1} і X_{C2} - координата по осі X центру мас трактора і напівпричепа, відповідно.

Вибір коефіцієнтів пружнодемпфіруючого зв'язку k_0 і B_0 заснований на рекомендаціях, представлених в.

2.4 Математичне моделювання силової установки

У загальному вигляді динаміка електромеханічної трансмісії з індивідуальним приводом рушіїв може бути описана наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} (J_D + J_G) \cdot \dot{\omega}_D = M_D - M_{CD}; \\ (J_{ki} + J_{Ti} \cdot U_{kp}^2) \cdot \dot{\omega}_{ki} = M_{ki} - M_{Ci}, \end{cases} \quad (2.31)$$

де J_D , J_G , J_T - моменти інерції колінчастого вала ДВЗ, вала генератора, вала i -го ТЕД;

$\dot{\omega}_D$ - кутове прискорення колінчастого вала ДВЗ;

M_D - крутний момент ДВЗ;

M_{CD} - момент опору, приведений до колінчастого валу ДВЗ;

$U_{кр}$ - передавальне число колісного редуктора.

У роботі прийнятий підхід, що виключає опис внутрішньої динаміки процесів, що відбуваються в електромеханічних пристроях. Тоді динаміка вихідного валу ТЕД, пов'язаного з рушієм через колісний редуктор, описується рівнянням:

$$J_{ki} \cdot \dot{\omega}_{ki} = M_{ТЕДi} \cdot U_{кр} \cdot \eta_{кр} - M_{Ci}, \quad (2.32)$$

де $M_{ТЕДi}$ - крутний момент на вихідному валу і-го ТЕД;

$\eta_{кр}$ - ККД колісного редуктора.

ККД електродвигуна на малих обертах складає менше 50%, у зв'язку з чим можливий дефіцит потужності при старті МТА з місця. Для підвищення адекватності розрахунків необхідно врахувати це в математичній моделі. Потужність, потрібна для живлення всіх тягових електродвигунів визначається наступним чином: потужність, що розвивається і-им електродвигуном ($P_{ТЕДi}$) при заданій частоті обертання (ω_{ki}), ділиться на ККД електродвигуна при тій же частоті обертання:

$$P_{номр} = \sum_{i=1}^{14} (P_{ТЕДi} / \eta_{ТЕДi}) = \sum_{i=1}^{14} (30 \cdot \omega_{ki} \cdot U_{кр} \cdot M_{ТЕДi} / \pi \cdot \eta_{ТЕДi}), \quad (2.33)$$

де $\eta_{ТЕДi}$ - ККД і-го ТЕД при заданій частоті обертання.

2.5 Розрахунок параметрів моделі двигуна і побудова графіків перехідних процесів при регулюванні частоти обертання зміною частоти живлячої напруги.

Для моделювання перехідного процесу використовується модель представлена на рис. 2.5.

Живляча напруга залишається незмінною – 220 В – тому задається блоком типу Constant, після цього сигнал множиться на 1.414, внаслідок чого набуваємо амплітудного значення. Діюче значення задається блоком типу Step : спочатку воно рівне 50Гц, а після закінчення перехідного процесу ступінчасто змінюється до зниженого значення. Потім інтегрується, внаслідок чого отримуємо фазу коливань.

Сигнали фази коливання і амплітуди напруги використовуються для моделювання сигналів трифазної напруги із зсувом 120° . Для цієї мети використовуються блоки типу Fcn. Сигнали цих блоків є керівниками для трьох блоків Control Voltage Source, якими моделюється трифазна напруга, що подається на обмотку статора двигуна[17].

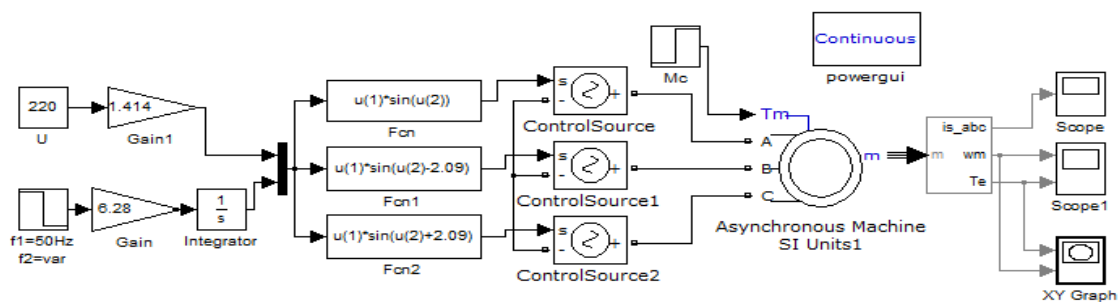


Рисунок 2.5 – Модель двигуна при регулюванні частоти обертання зміною частоти напруги живлення.

Результатом моделювання є графіки перехідних процесів кутової швидкості обертання і моменту, представлені на рис. 2.6 і динамічна і механічна характеристика, представлені на рис. 2.7

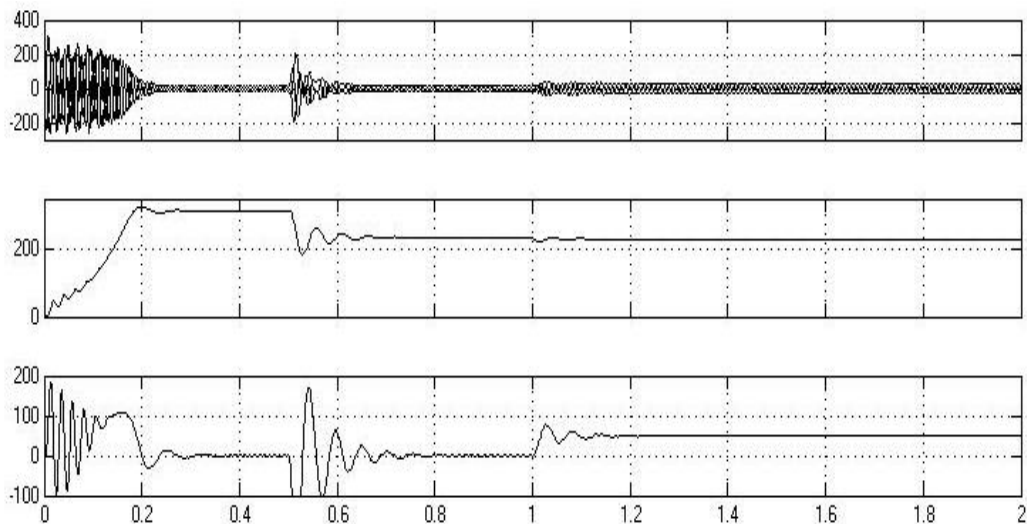


Рисунок 2.6 – Графіки кутової швидкості валу і електромагнітного моменту при регулюванні частоти обертання зміною частотою напруги живлення.

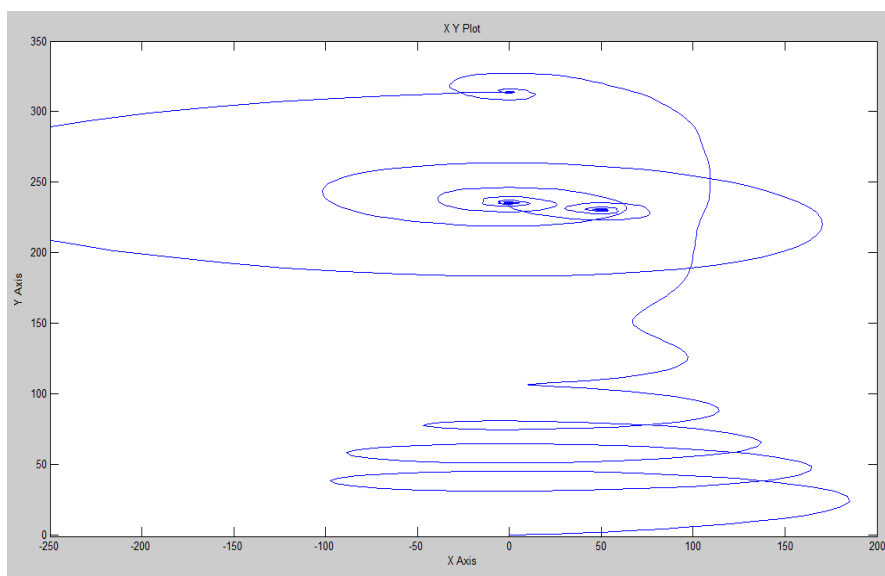


Рисунок 2.7 – Динамічна механічна характеристика двигуна при регулюванні частоти обертання зміною частоти напруги живлення.

Показники динамічних процесів:

1. Тривалість перехідного процесу (тривалість регулювання) t_n .

$$t_n = 0,3 \text{ с.}$$

2. Характер перехідного процесу.

Перехідний процес – коливальний.

3. Максимальне відхилення в перехідний період (динамічна похідна).

$$\sigma = \frac{x_{\max} - x_{уст}}{x_{уст}} \cdot 100\% . \quad (2.34)$$

$$\sigma = \frac{325 - 315}{315} \cdot 100\% = 4,2\% .$$

4. Коливальність перехідного процесу.

$$\psi = \left(1 - \frac{x_{\max 2}}{x_{\max 1}} \right) \cdot 100\% , \quad (2.35)$$

$$\psi = \left(1 - \frac{318}{325} \right) \cdot 100\% = 2,15\% .$$

Висновки по розділу 2

1. Проведено математичне моделювання руху машинно-тракторного агрегату з активною причіпною ланкою;
2. Проведено моделювання електричного двигуна.

3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ АКТИВНИМ ПРИВОДОМ СІВАЛКИ

3.1 Основні елементи системи та їх взаємозв'язок

Джерелом електричної енергії (ЕЕ) для системи буде виступати трифазний синхронний генератор з приводом від валу відбору потужності трактора. ЕЕ буде розподілятися між силовою частиною системи та колом керування.

Силова частина складається з двох частотних перетворювачів (ПЧ) та двох електричних двигунів. Крутний момент від двигуна буде передаватися на колесо без допоміжної проміжної ланки (без редуктора). Напруга до частотних перетворювачів підводиться безпосередньо від генераторної установки, а від частотних перетворювачів вже подається на електричні двигуни.

До кола керування входять апарати захисту та керування. Для запобігання руйнівній дії аварійних режимів роботи використовується автоматичні вимикачі, які відключають живлення. Контактори використовуються для запобігання зворотної подачі напруги до частотного перетворювача, тобто на холостому ході електрична машина може працювати в генераторному режимі.

Керування основними функціями відбуватиметься через людино-машинний інтерфейс (ЛМІ) у вигляді панелі оператора.

Програмні алгоритми будуть виконуватись в програмованому логічному контролері (ПЛК). Інформація до входів ПЛК буде надходити з ЛМІ, датчика фактичної швидкості руху сівалки, енкoderів встановлених на електричних двигунах.

3.2 Вибір обладнання

3.2.1 Вибір перетворювача частоти

Частотний перетворювач (регульований електропривод) забезпечує дві його основні і взаємопов'язані функції: управління технологічним процесом робочої

установки відповідно до якої ставляться вимоги до нього і електромеханічне перетворення енергії з максимальною її ефективністю. Реалізація цих функцій вимагає особливого підходу до вибору і експлуатації регульованого електроприводу в порівнянні з нерегульованим. Теоретичні аспекти такого підходу добре відомі фахівцям в області автоматизованого електроприводу (АЕП).

Регулювання технологічних координат з високою статичної та динамічної точністю вимагає від електроприводу додаткового запасу по його динамічній потужності. Остання повинна вибиратися з урахуванням його реальних навантажувальних діаграм, включаючи і динамічні складові моментів, пов'язані зі зміною приведенного до валу електродвигуна моменту інерції. При модернізації електроприводу, пов'язаної з заміною одного типу приводу на інший, слід враховувати і різницю в перевантажувальних здібностях по струму, моменту і моментах інерції замінних електродвигунів. Найбільш актуальні ці зауваження для приводів, що працюють в повторно-короткочасних режимах роботи і на валу яких за технологією робочої установки мають місце стрибкоподібні зміни навантажень.

Поширеною помилкою є вибір потужності частотного перетворювача живлячого електродвигун за реальною експлуатаційної потужності цього ж двигуна в розімкнутій системі управління. При цьому через обмеження максимально допустимого струму перетворювача виникає проблема забезпечення необхідних динамічних показників приводу при введенні зворотних зв'язків за регульованими координатами.

Вибір частотних перетворювачів на технологічну потужність приводу, помітно меншу номінальної встановленої потужності електродвигуна, посилює і проблему автоматичної ідентифікації значень його параметрів і параметрів регуляторів системи керування електроприводом за допомогою вбудованого в перетворювачі їх програмного забезпечення. При розбіжності попередньо встановлених граничних значень параметрів двигуна близького за потужністю перетворювача його програмне забезпечення або вказує на неможливість ідентифікації параметрів електродвигуна і блокує роботу перетворювача спільно з двигуном, або вносить помітні похибки в свою математичну модель двигуна, на

основі якої обчислюються режими роботи і обмеження змінних електроприводу . В результаті динамічні показники і експлуатаційна надійність електроприводу знижуються.

При виборі частотних перетворювачів, що працюють в регульованому електроприводі з високо динамічними і повторно-короткочасними режимами, нерідко ігнорується необхідність забезпечення рекуперації енергії з боку електродвигуна в мережу живлення, або на активне навантаження. Такі перетворювачі повинні мати або двосторонній обмін енергією між двигуном і живильною перетворювач мережею (ПЧ з безпосереднім зв'язком, на основі автономних інверторів струму, з блоком рекуперації на вході інвертора), або мати додатковий резистор для скидання на нього рекуперовану енергії.

Регулювання швидкості приводу змінного струму відбивається і на погіршенні умов охолодження електродвигунів з самовентиляцією при зменшенні їх швидкості. Українська електротехнічна промисловість, на жаль, відстає від виробництва спеціальних машин змінного струму при їх живленні від керованих ПЧ. У підсумку це змушує або збільшувати встановлену потужність двигунів, або вирішувати в екстрених ситуаціях проблему їх додаткового охолодження.

Для потужних технологічних установок, де навколишнє середовище відрізняється підвищеною вологістю або наявністю струмопровідних частин, намітилася тенденція замовлення з боку експлуатаційного персоналу низьковольтного виконання електроприводу. Подібне рішення сприяє помітному зниженню експлуатаційних витрат на його обслуговування при збільшенні надійності і безпеки електрообладнання.

Можливість різких коливань і спотворень напруги і струму живлячої перетворювачі мережі через комутаційні режими (включення і відключення напруги перетворювач трансформатора, комутації вентилів і т.п.) змушує приймати спеціальні захисні заходи по обмеженню їх впливу на роботу перетворювача і системи його управління. До числа подібних заходів відносяться установка на вході перетворювача силових струмообмежуючих реакторів, захисних RC-ланцюгів або варисторів. Актуальність обґрунтування і вибору їх параметрів зберігається і досі.

Наявність проміжного трансформатора на виході ПЧ для живлення електродвигуна з більш високою напругою на статорі, ніж вихідна напруга перетворювача, створює ряд проблем, пов'язаних з додатковим нагріванням цього трансформатора через високочастотні складові вихідного струму перетворювача, з початковим пуском двигуна і вибором початкової частоти і вихідної напруги перетворювача. Вони посилюються для технологічних установок з активним моментом сил опору і вимагають за технологією застосування структур векторного керування електроприводом.

Впровадження ПЧ з широтно-імпульсною модуляцією його вихідної напруги супроводжується посиленням вимог до стану ізоляції силових ланцюгів елементів електроприводу і можливості використання старих кабелів зв'язку при реконструкції приводу. Високочастотні складові вихідної напруги перетворювачів змушують встановлювати на їх виході або додаткові фільтри, або обмежувати довжину кабельних ліній між перетворювачем і двигуном для обмеження перенапруг на силових напівпровідникових ключах перетворювача. Помітно зростає і актуальність контролю ізоляції силових ланцюгів електроприводу за допомогою спеціалізованих пристроїв.

Для приводу ряду механізмів (насосів, компресорів, вентиляторів і т.п.) за технологічними і економічними міркувань часто закладаються вимоги керованого пуску асинхронного двигуна до його номінальної швидкості з подальшим підключенням двигуна на мережу живлення, або назад від мережі до ПЧ для керованого режиму гальмування. Такі перемикання можуть супроводжуватися помітними і, часто неприпустимими, змінами струму в силовому ланцюзі живлення і швидкості двигуна. Особливо це позначається при великих навантаженнях і малих моментах інерції приводу, Для подібних режимів роботи електроприводу використовується спосіб перемикання з "перекриттям", коли асинхронний двигун короткочасно підключається і до мережі і до перетворювача частоти одночасно. При цьому для досягнення рівності частоти, амплітуди вихідної напруги перетворювача з напругою мережі живлення в системі управління ПЧ повинен

передбачатися спеціальний блок синхронізації, а для обмеження зрівняльних струмів між ПЧ і мережею встановлюватися розділовий дросель.

Для регульованого електроприводу підйомно-транспортних механізмів (кранів, тягові двигуни) можуть виникати проблеми, пов'язані з короткочасними перериваннями струму в силових колах приєднання статорних обмоток асинхронного електродвигуна до виходу ПЧ за допомогою контактних проводів (тролеїв) через ковзаючи струмозійомники. При роботі ПЧ зі скалярною системою управління координатами електродвигуна подібне переривання струму лише в одній його фазі не приводить до аварійних режимів і зупинки приводу. При тривалому перериванні струму в одній фазі електродвигуна через асиметрію його напруги живлення збільшуються втрати в двигуні і, при навантаженні на його валу, зменшується частота обертання. В результаті ПЧ буде відключений з боку захисту двигуна по перевищенню його температури. При роботі ПЧ з векторної системою управління координатами електродвигуна короткочасне переривання струму в одній з фаз викликає аварійне відключення приводу і його зупинка. Короткочасне двофазне переривання живлення електродвигуна в ковзних струмознімачах призводить, як правило, до відключення перетворювача по його максимально-допустимим струмом при наступному відновленні живлення двигуна. Для подібних режимів необхідно в програмне забезпечення системи управління перетворювачем включати або можливість його автоматичного повторного включення або "самопідхоплення", при якому використовується кінетична енергія обертання ротора двигуна.

Розвиток мікропроцесорних систем управління електроприводу дозволяє отримувати досить якісні його показники, однак їх технічна реалізація вимагає і більш глибокої інформації про реальні параметри елементів електроприводу. На жаль, у вітчизняних каталогах і паспортних даних на електрообладнання все рідше можна знайти дані по активним і реактивним опорам електричних обмоток двигунів, їх теплових постійних часу, моментів інерції і т.д. За тими параметрами, які повинні вводитися в програмне забезпечення системи управління електроприводу. Відсутність чисельних значень ряду параметрів силової частини

електроприводу, які повинні вводитися в математичну модель електродвигуна, помітно обмежує якість настройки і надійність роботи електроприводу. Тому в багатьох перетворювачах передбачений режим ідентифікації цих параметрів і автоматичної настройки параметрів регуляторів системи керування вводиться в експлуатацію електроприводу. Слід зазначити, що настройка параметрів регуляторів носить, як правило, "орієнтовний" характер, забезпечуючи лише стійкість замкнутої системи регулювання вихідних координат. Потім, при необхідності збільшення динамічних показників електроприводу, параметри регуляторів повинні коректуватися більш якісно вже налагоджувальних персоналом.

Підвищенню точності і стабільності систем управління електроприводу; їх експлуатаційної надійності і зниження витрат на обслуговування сприяють ідеологія аналізу і синтезу цифрових систем за подобою аналогових систем управління; можливість реалізації на їх основі не тільки структур підлеглого регулювання координат електропривода, а й інших технологічно обумовлених структур, наприклад з перемикаються зворотними зв'язками, з системами за принципом фазі-логіки, нейронними системами і т. п.

Вибір структури управління електроприводу багато в чому визначає його кінцеві показники регулювання. Для частотно-регульованого асинхронного електроприводу найбільш поширений скалярний принцип управління його координатами. Йому властива технічна простота вимірювання і регулювання змінних електродвигуна, а також можливість побудови як замкнутих, так і розімкнутих систем керування його швидкістю. Основний недоліком скалярного управління в труднощі реалізації бажаних законом регулювання моменту і високих динамічних показників регулювання координат електропривода, Тому для приводів, де за технологією потрібна максимальна швидкодія при регулюванні його координат і управління моментом електропривода, застосовується векторне управління його координатами.

Наявність в програмному забезпеченні перетворювачів стандартних функціональних модулів, що дозволяють при налагодженні електроприводу

оперативно змінювати структуру і алгоритми його управління відповідно до можливих корекціями технологічних режимів його роботи, сприяє збільшенню якості їх налаштування. На основі функціональних модулів можуть бути реалізовані і системи логічного керування електроприводом, блокувань, захистів і діагностування працездатності приводу. При цьому процедура побудови і програмування функціональних модулів, представлених в цифровій формі перетворення сигналів, повинна бути близька до широко зрозумілою експлуатаційним персоналом аналогової форми їх реалізації. Подібне рішення має місце для багатьох зарубіжних перетворювачів, де функціональні блоки об'єднуються між собою аналоговими і логічними "з'єднувачами", кодованими чисельними номерами.

Зменшення потужності управління при різкому збільшенні динамічних властивостей елементів, зростання потужності і числа дискретних перетворювачів помітно загострили проблему електромагнітної сумісності (ЕМС) елементів АЕП і АСУТП. Проблема посилюється і частим ігноруванням її фахівцями, які безпосередньо відповідають за функціонування АЕП і АСУТП - проектантами, конструкторами, службами електромонтажу, налагодження та експлуатації.

Поширеною помилкою з позицій забезпечення ЕМС елементів АЕП останнім часом стало застосування неекраниваних силових кабелів між ПЧ і електродвигуном. Сприяє цьому і відсутність випуску у вітчизняній промисловості силових кабелів, що мають екрановану оболонку з зовнішнім ізоляційним шаром і спеціально призначених для роботи з потужними ПЧ. У підсумку доводиться користуватися зарубіжної кабельної продукцією з досить високими на неї цінами.

Забезпечення працездатності електроприводу пов'язано і з необхідністю діагностування його технічного стану в умовах промислової експлуатації АЕП. Крім загальноприйнятих і програмно реалізованих в пристроях управління ПЧ систем діагностування власне електроприводів, для контролю зовнішніх пристроїв керування електроприводом і технологічних режимів його роботи доцільно супроводжувати ці системи відео термальними пристроями спостереження і запису

контрольованих координат з вбудованими в них додатковими програмами діагностування.

Для нашого проекту вибираємо ПЧ ATV930D22N4 (рис. 3.1) від фірми Schneider Electric.



Рисунок 3.1 – Частотний перетворювач ATV930D22N4

Altivar Process – це новий повний спектр приводів із змінною швидкістю.

Schneider Electric охоплює більшість промислових застосувань з 2-ма серіями:

- ATV600: приводи, орієнтовані на управління та обробку рідини та енергозбереження
- ATV900: приводи зосереджені на максимальній продуктивності з винятковим керуванням двигуном і підключенням

Залежно від вимог замовника, приводи Altivar Process доступні як настінні, з кріпленням до підлоги та оптимізовані рішення для інтеграції в шафи.

Продуктивність двигуна та підключення забезпечується завдяки:

- Відмінні характеристики двигуна на будь-якому типі приводу;

- Подвійний порт Ethernet пропонує максимальні послуги, такі як підключення до контрольної кімнати та прозорість процесу;
- Мережева послуга допомагає забезпечити безперервність роботи навіть у випадку зриву з'єднання;
- Веб-сервер і реєстрація даних допомагають швидко скоротити час простою усунення несправностей та профілактичне обслуговування.

Повний контроль над нашими програмами забезпечується з допомогою:

- Максимізації продуктивності нашої програми за допомогою зв'язку Drive-to-Drive;
- Повне управління будь-яким видом зв'язку в системі master/slave;
- Загальне управління і гнучкість швидкості і крутного моменту на жорстких і еластичних муфтах;
- Функції моніторингу активів для збільшення виробництва та скорочення часу простою;
- Вбудований інтерфейс веб-сервера на основі мережі Ethernet надає нам можливість для моніторингу процесу за допомогою щоденних робочих інструментів;
- Місцевий і віддалений доступ до енергоспоживання та індивідуальні панелі інструментів;
- Керування з будь-якого місця, у будь-який час, на ПК, планшеті або смартфоні.

Так як ПЧ буде отримувати керуючі команди з ПЛК то потрібно щоб був налагоджений гарний зв'язок. Інтеграція ПЧ з ПЛК досягається завдяки:

- Легкій інтеграція стандартизованих технології FDT / DTM і ODVA;
- Підтримується попередньо визначеними бібліотеками Unity Pro;
- Легкий доступ через ПК, планшет або смартфон;
- Надійне з'єднання через Ethernet.

Установка модулів розширення вводу / виводу ПЧ Altivar Process може бути адаптована для задоволення потреби додатків, які управляють додатковими датчиками або спеціалізованими датчиками.

Доступні 2 модуля розширення:

- Модуль з цифровим і аналоговим входом / виходом;
- Модуль з релейними виходами.

Ці модулі вставляються в слоти А і В на приводах Altivar Process:

- Слот А для модулів розширення І / О або модулів fieldbus;
- Слот В для модулів розширення І / О і модулів енкодера.

В нашому випадку ми будемо використовувати один слот для модуля енкодера, а другий для шини CANopen через яку буде організовано зв'язок з керуючим системою ПЛК.

Виконувати налаштування можливо двома шляхами: за допомогою вбудованого терміналу або за допомогою програмного забезпечення від компанії Schneider Electric SoMove.

Програмне забезпечення SoMove (рис. 3.2) виконує наступні функції при налаштуванні ПЧ:

- Конфігурування параметрів;
- Запуск;
- Обслуговування.

Для налаштування і обслуговування можна використовувати: кабель USB/RJ45 для прямого підключення ПК до пристрою, бездротовий зв'язок Bluetooth, програмне забезпечення SoMove Mobile для мобільних телефонів для зв'язку через Bluetooth.

Використання даних інструментів дозволяє зменшити час завантаження, дублювання змін налаштувань пристрою.

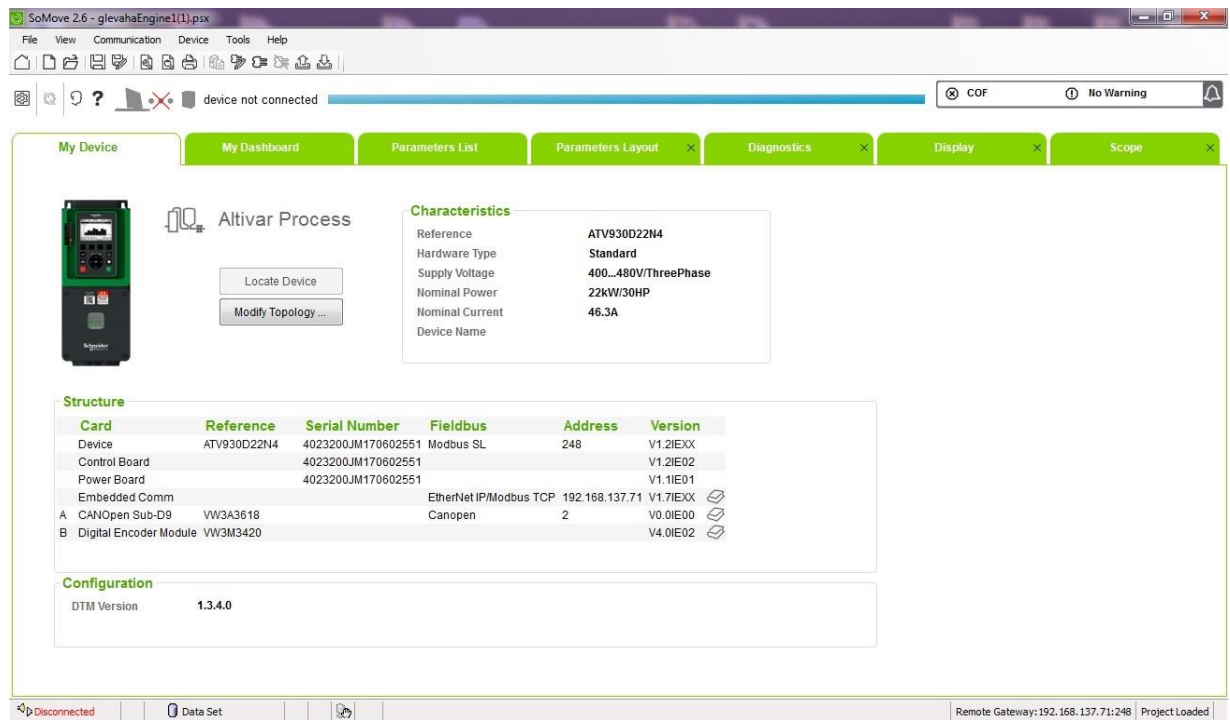


Рисунок 3.2 – Інтерфейс користувача програмного забезпечення SoMove

Робота в режимі offline:

- Підготовка файлів конфігурації;
- Збереження конфігурації на жорсткий диск, відправка налаштувань через електронну пошту;
- Роздрукування листі параметрів;
- Підготовка файлів конфігурації для мультиконфігурування і програмного пакету SoMove Mobile.

Робота в online режимі:

- Налаштування, конфігурування, контроль і моніторинг;
- Пересилання конфігурації між ПК і пристроєм.

3.2.2 Вибір програмованого логічного контролера.

Жорсткі обмеження вартості та широка різноманітність цілей автоматизації призвели до неможливості створення універсального програмованого логічного

контролера (ПЛК), подібно до офісних комп'ютерів. Сфера автоматизації постає перед безліччю завдань, що призводить до розширення ринку, де існують сотні різних контролерів, відмінних за десятками параметрів. Кожен виробник випускає кілька видів ПЛК різної потужності та цінового діапазону, щоб збільшити свій прибуток через сегментацію ринку.

Вибір оптимального контролера для конкретного завдання зазвичай ґрунтується на відповідності функціональних характеристик контролера, що вирішує конкретну задачу, при умові мінімізації його вартості. При цьому також враховуються інші важливі параметри, такі як температурний діапазон, надійність, бренд виробника, наявність дозволів, сертифікатів і інші.

Незважаючи на величезну різноманітність контролерів, в їхньому розвитку помітні наступні загальні тенденції:

- зменшення габаритів;
- розширення функціональних можливостей;
- збільшення кількості підтримуваних інтерфейсів і мереж;
- використання ідеології "відкритих систем";
- використання мов програмування стандарту МЕК 61131-3;
- зниження ціни.

Ще однією тенденцією є поява у контролерах ознак, характерних для комп'ютерів, таких як наявність миші, клавіатури, монітора, операційної системи Windows та можливість підключення жорсткого диска. З іншого боку, у комп'ютерах з'являються ознаки контролера, такі як розширений температурний діапазон, електронний диск, захист від пилу і вологи, кріплення на DIN-рейку, наявність сторожового таймера, збільшена кількість комунікаційних портів, використання операційної системи жорсткого реального часу, функції самотестування і діагностики, а також контроль цілісності прикладної програми. З'явилися конструкції комп'ютерів, спеціально призначені для роботи в жорстких умовах експлуатації. Апаратні відмінності між комп'ютерами і контролерами поступово зменшуються, залишаючи основними відмітними ознаками контролера його призначення і використання технологічного мови програмування.

Для класифікації величезного розмаїття існуючих в даний час контролерів розглянемо їх істотні відмінності.

Основним показником ПЛК є кількість каналів вводу-виводу. За цією ознакою ПЛК діляться на наступні групи:

- ПЛК (менше 16 каналів);
- мікро-ПЛК (більше 16, до 100 каналів);
- середні (понад 100, до 500 каналів);
- великі (понад 500 каналів).

По розташуванню модулів вводу-виводу ПЛК бувають:

Моноблочні системи - це такі, в яких пристрій введення-виведення не може бути відокремлено від контролера або замінено на інший. З конструктивної точки зору контролер є єдиною одиницею разом із пристроями введення-виведення, наприклад, в одноплатному контролері. Моноблочний контролер може мати, наприклад, 16 каналів дискретного введення і 8 каналів релейного виводу.

Модульні системи складаються з загальної шини (шасі), в якій розташовуються модуль центрального процесора і різні модулі введення-виведення. Склад модулів може бути вибраний користувачем в залежності від конкретної задачі. Зазвичай кількість слотів для змінних модулів варіюється від 8 до 32.

Розподілені системи, з віддаленими модулями введення-виведення, характеризуються тим, що модулі введення-виведення розташовані в окремих корпусах, з'єднані з модулем контролера через мережу, зазвичай на основі інтерфейсу RS-485, і можуть знаходитися на відстані до 1 км від процесорного модуля.

Часто вказані конструктивні типи контролерів комбінуються, наприклад, моноблочний контролер може мати кілька виносних плат; моноблочні та модульні контролери можуть бути розширені віддаленими модулями введення-виведення для збільшення загальної кількості каналів. Багато контролерів мають набір змінних процесорних плат різної продуктивності, що дозволяє розширити коло потенційних користувачів системи без необхідності змінювати її конструкцію.

За конструктивним виконанням і способом кріплення контролери діляться на:

- панельні (для монтажу на панель або дверцята шафи);
- для монтажу на DIN-рейку усередині шафи;
- для кріплення на стіні;
- стійку - для монтажу в стійці;
- безкорпусні (зазвичай одноплатні) для застосування в спеціалізованих конструктивах виробників обладнання (ОЕМ - "Original Equipment Manufacturer").

По області застосування контролери діляться на наступні типи:

- універсальні загальнопромислові;
- для керування роботами;
- для управління позиціонуванням і переміщенням;
- комунікаційні;
- ПД-контролери;
- спеціалізовані.

За способом програмування контролери бувають:

- програмовані з лицьової панелі контролера;
- програмовані переносним програматором;
- програмовані за допомогою дисплея, миші і клавіатури;
- програмовані за допомогою персонального комп'ютера.

Контролери можуть бути програмовані за допомогою різних мов, включаючи класичні алгоритмічні мови (такі як C, C#, Visual Basic) або мови, визначені Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) за стандартом 61131-3.

Слід зазначити, що контролери включають в себе модулі введення-виведення або можуть працювати без них. Наприклад, деякі контролери без модулів вводу-виведення можуть функціонувати як комунікаційні контролери, виконуючи роль міжмережевого шлюзу. Також існують контролери, які отримують дані від контролерів на нижчому рівні ієрархії автоматизованої системи управління

технологічним процесом (АСУ ТП). Архітектурою контролера називається набір його основних компонентів і взаємозв'язків між ними. Зазвичай, стандартний склад програмованого логічного контролера (ПЛК) включає в себе центральний процесор, пам'ять, мережеві інтерфейси та пристрої введення-виведення. Іноді до цієї конфігурації додається пристрій для програмування, пульт оператора, пристрої індикації, і, рідше, - принтер, клавіатура або миша.

Процесорний модуль включає в себе мікропроцесор (центральний процесорний пристрій - ЦПУ), що запам'ятовують пристрої, годинник реального часу і сторожовий таймер. Терміни "мікропроцесор" і "процесор" в даний час стали синонімами, оскільки все знову випускаються процесори виконуються у вигляді, тобто є мікропроцесорами.

Головною характеристикою мікропроцесора є розрядність (в ПЛК використовуються 8-ми, 16-ти і 32-розрядні мікропроцесори), Тактова частота, або швидкість опрацювання регістрів команд, представляє собою кількість циклів, які виконуються за одиницю часу. Вона визначає ефективність роботи контролера, дозволяючи йому виконувати операції швидше або повільніше в залежності від її значення.

Архітектура контролера визначає структуру та організацію його компонентів, що впливає на загальну продуктивність та можливості. Наявність операцій з плаваючою точкою важлива для обробки десяткових чисел з дробовою частиною, що забезпечує точність виконання різних завдань. Типи підтримуваних портів введення-виведення визначають, як контролер може обмінюватися даними з зовнішніми пристроями та системами. Температурний діапазон працездатності вказує на той діапазон температур, при яких контролер може ефективно працювати без втрати продуктивності або навіть відмови.

Споживана потужність - це кількість електроенергії, яку витрачає контролер під час роботи, що є важливим показником для оцінки його енергоефективності.

Для контролерів, які виконують інтенсивну математичну обробку даних, важлива наявність математичного співпроцесора або сигнальних процесорів.

Математичний співпроцесор є допоміжним процесором, спеціально призначеним для виконання математичних операцій, зокрема операцій з плаваючою точкою.

Сигнальні процесори є ще однією важливою складовою для інтенсивної обробки сигналів. Вони спроектовані для ефективного виконання операцій з обробки сигналів, таких як операції згортки або швидке перетворення Фур'є. Одна з основних переваг сигнальних процесорів - можливість виконувати багато операцій за один такт, що призводить до значного прискорення обчислень у відповідних додатках.

Ємність пам'яті визначає кількість змінних (тегів), які можуть бути оброблені в процесі функціонування програмованого логічного контролера (ПЛК). У випадку мікропроцесорів, час доступу до пам'яті є важливим фактором, який обмежує швидкість виконання операцій. Тому пам'ять розподіляється на кілька рівнів ієрархії в залежності від частоти використання та швидкодії.

Ієрархія пам'яті є ключовою характеристикою архітектури процесора, оскільки вона дозволяє зменшити вплив повільної пам'яті на швидкість роботи мікропроцесора. Основними типами пам'яті є постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗУ), оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) і реєстри.

Реєстри є найшвидшими елементами пам'яті, оскільки вони використовуються арифметико-логічним пристроєм (АЛП) для виконання елементарних команд процесора. ПЗУ використовується для зберігання сталих даних, таких як операційна система, драйвери пристроїв, завантажувач та виконуваний модуль програми користувача. ОЗП використовується для зберігання змінних даних, таких як значення тегів, результати обчислень, діагностична інформація, масиви та дані для відображення на дисплеї.

Програмована пам'ять, яка може бути електрично стирана, часто використовується в якості ПЗУ або ROM (Read-Only Memory). Одним з різновидів такої пам'яті є EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM). Флеш-пам'ять є ще одним різновидом EEPROM.

Флеш-пам'ять використовує принцип зберігання заряду в конденсаторі, утвореному плаваючим затвором і підкладкою МОП-транзистора. Однією з

особливостей флеш-пам'яті є її енергонезалежність, що означає збереження даних при вимкненому живленні. Недоліком всіх ПЗУ є низька швидкодія. Однак їх використання в ролі ПЗУ виправдане, оскільки ці типи пам'яті призначені для зберігання постійних даних, таких як операційна система, драйвери пристроїв, завантажувачі тощо, які не потребують частого зчитування чи записування. Кількість циклів запису інформації у флеш-пам'ять обмежена і складає кілька десятків тисяч разів. За конструктивним виконанням і інтерфейсів флеш-пам'ять поділяється на Compact Flash (CF), Memory Stick, Secure Digital (SD), MultiMediaCard (MMC), RS-MMC, SmartMedia Card (SMC), USB-flash. Флеш-пам'ять може бути впаяна в друковану плату або бути знімною.

Сучасні мікропроцесори використовують як статичну пам'ять (SRAM - Static Random Access Memory), так і динамічну пам'ять (DRAM - Dynamic Random Access Memory), включаючи її синхронізований тип SDRAM (Synchronous DRAM).

SRAM використовує тригери для зберігання інформації, і ця інформація зберігається необмежено довго при наявності живлення. Однак SRAM має високу вартість, пов'язану з низькою щільністю компоновки тригерів на кристалі, і мале відношення ємності до ціни. Відзначається великою швидкістю, що може досягати одного гігагерца.

Динамічна пам'ять (DRAM) використовує конденсатори для зберігання інформації, і тому вимагає періодичної регенерації (перезарядки конденсаторів). DRAM має менше вартість на біт, але меншу швидкість порівняно з SRAM.

SDRAM (Synchronous DRAM) є формою DRAM, яка синхронізується з системним тактом, що дозволяє оптимізувати швидкість передачі даних між пам'яттю та процесором.

Обидва типи пам'яті (DRAM і SRAM) не можуть зберігати інформацію при відключенні живлення. Тому деякі типи програмованих логічних контролерів (ПЛК) використовують батарейне живлення пам'яті для збереження працездатності системи автоматизації після короткочасного відключення живлення. Моноблочні і модульні контролери використовують, як правило, паралельну шину для обміну даними з модулями вводу-виводу, що дозволяє на порядок підвищити швидкість

їх опитування у порівнянні з послідовною шиною. Паралельні шини можуть бути стандартними (ISA, PC/104, PCI, CompactPCI, VME, CXM) або створені приватними фірмами. Послідовна шина контролера (на основі інтерфейсу RS-485) використовується для підключення до нього віддалених (розподілених) модулів вводу-виводу.

Програмування контролерів малої потужності зазвичай виконується за допомогою кнопок, розташованих на лицьовій панелі або з використанням переносного пульта для програмування. У сучасних умовах такий пульт може бути представлений комп'ютером у форматі "ноутбук".

Для програмування більш потужних контролерів використовується персональний комп'ютер, на якому встановлюється спеціальне програмне забезпечення. Це програмне забезпечення виконує трансляцію програм, написаних в технологічній мові стандарту MEK 61131-3, в виконуваний код процесора. Отриманий код потім завантажується в ПЗУ програмованого логічного контролера (ПЛК), наприклад, через порт Ethernet чи інший доступний інтерфейс.

Процесорний модуль ПЛК виконує наступні завдання:

- збирає дані з модулів введення в пам'ять і відсилає дані з пам'яті в модулі виводу;
- виконує обмін даними з пристроєм для програмування контролера;
- видає мітки годин реального часу;
- здійснює обмін даними з промислової мережею;
- реалізує стек протоколів промислової мережі (для цієї мети можуть використовуватися допоміжні комунікаційні процесори);
- виконує початкове завантаження і виконання операційної системи;
- виконує завантажувальний модуль користувальницької програми системи автоматизації;
- управляє актами обміну з пам'яттю.

Однією з тенденцій у розвитку ПЛК є використання процесорних модулів різної потужності для одного конструктиву контролера. Це дозволяє отримати серію контролерів різної потужності і тим самим покрити більший сегмент ринку,

а також виконати модернізацію контролерів, куплених споживачами, шляхом заміни всього одного модуля.

До основних характеристик процесорного модуля відносяться:

- тип операційної системи (Windows CE, Linux, DOS, OS-9, QNX і ін.);
- наявність виконавчого середовища для стандартної системи програмування на мовах МЕК 61131-3;
- типи підтримуваних інтерфейсів (RS-232, RS-422, RS-485, CAN, USB, Ethernet і ін.);
- типи підтримуваних мереж (Modbus RTU, Modbus TCP, Ethernet, Profibus, CANopen, DeviceNet і ін.);
- можливість підключення пристроїв індикації або інтерфейсу оператора (світлодіодного або РКІ індикатора, клавіатури, миші, дисплея з інтерфейсами VGA, DVI або CMOS, LVDS, трекболу і ін.);
- розрядність (8, 16, 32 або 64 біта);
- тактова частота мікропроцесора і пам'яті;
- час виконання команд;
- обсяг, ієрархія і типи пам'яті (ОЗУ, кеш, ПЗУ - флеш, знімна флеш і ін.);
- типи вбудованих функцій (ПД-регулятор, лічильники, ШІМ, алгоритми позиціонування і управління рухом та ін.);
- бренд виробника (Intel, AMD, Atmel, Motorola, RealLab! та ін.).

Швидкість роботи процесорного модуля програмованого логічного контролера (ПЛК) зазвичай оцінюється за часом виконання логічних команд, оскільки вони є найбільш поширеними при реалізації алгоритмів керування.

У зв'язку з великою різноманітністю завдань, які можуть бути вирішені за допомогою програмованих логічних контролерів, та сильною залежністю ціни від потужності контролера, на ринку існує значна різноманітність використовуваних мікропроцесорів. Відзначаються використанням простих і бюджетних 8-розрядних мікропроцесорів від компаній, таких як Atmel і Microchip, до найвищопродуктивніших мікропроцесорів серії Intel Pentium, включаючи двоядерні і чотириядерні процесори. Такий спектр дозволяє вибирати процесор

залежно від конкретних вимог завдань і фінансових можливостей. Восьмирозрядні мікропроцесори знаходять широке застосування в автономних ПД-контролерах і мікро-ПЛК для реалізації нескладних алгоритмів управління верстатами, теплицями, невеликими технологічними апаратами та в ролі міжмережевих шлюзів. Їхньою перевагою є висока надійність, яка впливає з простоти програмного забезпечення.

Зазвичай мікропроцесори, використовувані в програмованих логічних контролерах (ПЛК), можуть відстати на кілька поколінь від процесорів офісних персональних комп'ютерів (ПК). Це обумовлено відносно малим обсягом ринку програмованих логічних контролерів, який не завжди забезпечує високий попит і окупність розробки нового контролера протягом періоду зміни поколінь мікропроцесорів.

Такі мікропроцесори успішно використовуються там, де найважливіше забезпечити стабільну роботу і уникнути зайвих складнощів у програмуванні. Їх ефективність особливо виявляється в ситуаціях, коли велика обчислювальна потужність не є критичною, а ключовими факторами є надійність та простота експлуатації.

Стандартні напруги живлення програмованих логічних контролерів (ПЛК) - це 12 В, 24 В і 48 В. Зазвичай, джерелом електропостачання є промислова мережа 220 В, 50 Гц. У випадку розподілених систем автоматизації джерело живлення може знаходитися далеко від програмованого логічного контролера, тому напруга на його клеммах або на модулях введення-виведення може значно відрізнитися від напруги джерела живлення через падіння напруги на опорі кабелю. Для вирішення цієї проблеми кожен програмований логічний контролер або кожен модуль віддаленого вводу оснащений вбудованим стабілізатором напруги, який гарантує нормальне їхнє функціонування в діапазоні напруг від 10 до 30 В.

Низька напруга живлення дозволяє жити контролери від акумуляторів бортових мереж транспортних засобів або переносних акумуляторів. В програмованих логічних контролерах (ПЛК) іноді використовують батарею для живлення годин реального часу (які повинні функціонувати при вимкненому ПЛК)

та для збереження інформації в постійній запам'ятовуючій одиниці (ПЗУ) на час аварійних перерв живлення. Для нашого проекту був обраний програмований логічний контролер (ПЛК) з серії M241 моделі TM241CE24T від компанії Schneider



Electric (рис. 3.3).

Рисунок 3.3 – Програмований логічний контролер TM241CE24T

Логічний контролер M241 має різні потужні функції і може обслуговувати широкий діапазон програми.

Конфігурація програмного забезпечення, програмування та введення в експлуатацію здійснюється за допомогою програмного забезпечення SoMachine, описаного в керівництві з програмування SoMachine і контролері логіки M241.

Логічний контролер M241 налаштований і запрограмований за допомогою програмного забезпечення SoMachine, яке підтримує наступні мови програмування MEK 61131-3:

- IL - список інструкцій;
- ST - структурований текст;
- FBD - діаграма функціонального блоку;
- SFC - послідовна функціональна діаграма;

- LD - сходова діаграма.

Програмне забезпечення SoMachine також може використовуватися для програмування цих контролерів за допомогою мови CFC (безперервних функціональних діаграм).

Блок живлення логічного контролера M241 24 В постійного струму або 100-240 В змінного струму.

Доступні наступні вбудовані типи вводу / виводу, залежно від моделі контролера:

- Регулярні входи;
- Швидкі входи, пов'язані з лічильниками;
- Регулярні транзисторні виходи;
- Швидкі транзисторні вихідні сигнали, пов'язані з генераторами імпульсів;
- Релейні виходи;
- Знімний накопичувач.

Логічні контролери M241 мають вбудований слот для SD-карти. Основними способами використання карти SD є: ініціалізація контролера за допомогою нової програми, оновлення мікропрограми контролера, застосування файлів конфігурації до контролера, застосування рецептів, отримання файлів реєстрації даних.

Доступні наступні типи комунікаційних портів залежно від моделі контролера:

- CANopen Master;
- Ethernet;
- USB Mini-B;
- Serial Line 1;
- Serial Line 2.

Somachine від Schneider Electric є програмним середовищем для розробки, налаштування та введення в експлуатацію систем автоматизації. Воно надає єдиний інтерфейс для програмування різних аспектів автоматизації, включаючи

логіку, управління рухом, інтерфейси людина-машину (НМІ), а також мережеві функції. Основні можливості Somachine включають:

1. Єдине середовище розробки: Somachine надає єдиний інтерфейс для розробки програмного забезпечення для всіх аспектів системи автоматизації.

2. Підтримка логіки: Включає інструменти для програмування логічної частини контролера, використовуючи мови програмування, такі як LD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram) та ST (Structured Text).

3. Управління рухом: Дозволяє програмувати функції управління рухом для систем з рухомими частинами.

4. Інтерфейси НМІ: Забезпечує інструменти для розробки інтерфейсів людина-машину, що спрощує взаємодію оператора з системою.

5. Мережеві функції: Дозволяє програмувати мережеві функції для взаємодії між різними частинами системи.

6. Масштабованість: Somachine розроблено для використання в різних за розмірами та складністю системах, що робить його відмінним вибором для компаній, які мають різноманітні потреби в автоматизації.

7. Підтримка комплексного обладнання: Підходить для виробників, які створюють комплексне обладнання та потребують оптимального виконання.

Somachine також може бути вигідним вибором для тих, хто використовує обладнання Schneider Electric, оскільки воно добре інтегроване з продуктами цієї компанії. Schneider Electric Somachine має інтегроване програмне забезпечення Vijeo-Designer, тому вважається професійним і ефективним відкритим програмним забезпеченням. Крім цього воно включає в себе засіб налаштування і введення в експлуатацію пристроїв управління рухом.

Somachine - це потужний інструмент для розробки програмного забезпечення, визначений для широкого спектру застосувань, включаючи пакування, підйомні та конвеєрні системи. Він включає перевірені бібліотеки експертних програм, має зрозумілий інтерфейс, оптимізоване програмне забезпечення та мінімалізований інтерфейс для спрощеної роботи користувачів.

Оптимізований процес програмування є важливою частиною проектування. Розширені функції інтерфейсу та управління відповідають потребам виробників систем контролю та відображення даних. Для ефективності програмування доступні інструменти, такі як моделювання, пошук точок можливого переривання, покрокове виконання та трасування. Меню введення в експлуатацію спрощує контроль за станом системи, а топологічна схема конфігурації допомагає візуалізувати пристрої та інші дані для зручної діагностики.

Schneider Electric SoMachine включає Device Type Manager (DTM) з Field Device Tool (FDT) для роботи з польовими пристроями. DTM та менеджер класу пристроїв (DTM) забезпечують прямий зв'язок через платформу із кожним пристроєм, контролером та CANopen (польова шина), усунувши необхідність у використанні додаткових проводів для кабельних з'єднань. Унікальне середовище платформи дозволяє переключати віддалені пристрої між автономним і мережевим режимами.

За бажанням можна розширити можливості платформи SoMachine, для цього треба додатковий носій або компакт-диск із перевіреними, документованими, затвердженими та підтримуваними бібліотеками експертних програм. Ці бібліотеки призначені для різноманітних OEM-застосувань, мають просту конфігурацію і прискорюють розробку, введення в експлуатацію, монтаж, пошук і усунення помилок. Вони застосовуються в областях, таких як обладнання для упаковки, підйом вантажів і конвеєрний транспорт.

Платформа SoMachine включає різні заздалегідь підготовлені проекти, які містять готові до використання налаштування та можуть бути легко адаптовані під вимоги конкретного замовника. Деякі з них відносяться до типових (TVDA) конфігурацій контролерів, а на диску Solution Extension є інші рішення, спрямовані на готові конфігурації SoMachine.

3.2.3 Вибір панелі оператора

Для забезпечення можливості зручного взаємодії людини з системою автоматизації слугує панель оператора. Панель оператора є ключовим засобом взаємодії між людиною і системою автоматизації. Цей пристрій введення-виведення програмується для оптимального управління обладнанням, дозволяючи оператору легко вибирати режим роботи, вводити параметри, контролювати процес та отримувати інформацію про стан системи. В індустрії часто використовуються панелі оператора, пов'язані з контролерами, що розширює їхні можливості та застосування в різних галузях промисловості.

Панель оператора відіграє важливу роль у виявленні аварій і неполадок, дозволяючи оператору негайно реагувати на ситуації. З'єднаний з контролером через сучасний інтерфейс, контролер автоматично управляє обладнанням. Застосування панелей оператора дозволяє уникнути встановлення великої кількості керуючої і сигнальної апаратури, що є традиційним для звичайних систем автоматизації.

Панель оператора і контролери автоматичних систем управління технологічними процесами взаємодіють за допомогою телекомунікаційних каналів. Дисплей панелі відображає в віртуальному вигляді сигналізаційні і керуючі елементи, мнемосхеми і інше, що входить у функціонал конкретного пристрою. Використання панелі оператора усуває потребу у великій кількості кнопок, індикаторів, перемикачів і табло, при цьому займаючи мінімальну площу і функціонуючи як багатофункціональний операторський пульт.

НМІ панель легко розміщується на зручному місці, будь то пульт управління, двері шафи, де встановлено Устаткування, що керується, або вже існуюча панель автоматизованої системи управління технологічним процесом. Панель при цьому володіє достатнім класом захисту оболонки IP.

Ось головні складові частини типової панелі оператора:

- Дисплей, який може бути графічним, текстовим або текстово-графічним;
- Пристрій введення, яким може бути клавіатура, сенсорний екран або джойстик;

- Пам'ять, ОЗУ і Flash, наприклад у вигляді карти пам'яті;
- У деяких моделях є вбудований програмований логічний контролер;
- Інтерфейси для зв'язку з зовнішніми контролерами і для програмування;
- У комплект входить спеціалізоване ПО.

Сьогодні на ринку панелей оператора є великий вибір пристроїв різного виконання, проте розділити їх можна на наступні види:

- Панелі оператора графічні;
- Панелі оператора сенсорні;
- Панелі оператора текстово-графічні з клавіатурою;
- Панелі оператора сенсорні логічні.

Графічні і текстово-графічні панелі, які мають клавіатуру, обладнані набором кнопок, кожній з яких призначається функціональне завдання, а також створюється група відповідних екранів. Ці панелі можуть відображати діаграми і графіки, що робить їх ідеальними для застосувань в промисловій автоматизації.

Вбудований в панель ПЛК має ядро SS2 і можливість підключення виходів і входів різного призначення. На панелі присутні індикатори стану виходів і входів. Клавіатура програмується з урахуванням вимог конкретного виробництва. Програмне забезпечення завантажується в панель через USB-порт, а також наявні пара портів RS485.

Ці панелі широко використовуються сьогодні в різних сферах, таких як комунальне господарство, промисловість та інші області, де потрібна автоматизація та управління. Їх поєднання з ПЛК робить ці панелі не лише економічно доступними, але й практичним рішенням: вони компактні, легко монтується і не вимагають складних процесів експлуатації. Програмне забезпечення доступне на офіційному сайті виробника, і його можна легко копіювати з однієї панелі на іншу за допомогою спеціальної карти пам'яті.

Сенсорні панелі оператора відкривають широкі можливості для реалізації творчості в проектуванні автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП). Вони відрізняються від інших типів панелей, таких як

текстово-графічні або графічні, завдяки доступу до унікальних графічних елементів і екранів з різноманітними елементами. Користувач може власноруч завантажувати графіку, а управління здійснюється за допомогою сенсорної матриці екрану, яка реагує на дотик.

Панелі оператора знаходять застосування в різних галузях, включаючи медицину та системи управління будівлями. Вони успішно замінюють застарілу світлосигнальну та керуючу апаратуру, яка раніше використовувалася в області автоматизації. Для зв'язку терміналу з контролерами АСУ ТП зазвичай достатньо одного кабелю інтерфейсу. Кількість відображуваних на панелі варіантів управління і віртуальних сигналізацій набагато перевищує можливість раніше використовуваних кнопок, індикаторів, перемикачів та табло на аналогічній за розмірами обладнанню шафі. Завдяки панелям оператора вдається спростити та зменшити габарити панелей та щитів управління обладнанням чи процесами. Для проекту була вибрана панель серії Magelis компанії Schneider Electric, модель HMISTU855 (рис 3.4).



Рисунок 3.4 – Графічна панель HMISTU855

Панелі Magelis STU, представлені як компактні та відкриті, надають розширені можливості зв'язку. Їх високороздільні сенсорні екрани, розумна система монтажу та програмне забезпечення HMI роблять ці панелі ідеальними для виробників машин в промисловості та інфраструктурі. Вбудоване підключення Ethernet робить зв'язок з панелями Magelis STU більш відкритим і швидким. З портами RJ45 для багатопрокольних RS-485/232, стандартними та міні USB-портами, ці панелі дозволяють легко взаємодіяти з доступним обладнанням без додаткових витрат. [23]

Встановлення невеликої панелі Magelis STU не вимагає вимикання панелі. Достатньо просвердлити отвір діаметром 22 мм, подібно до встановлення кнопки. Передній модуль, який включає екран, з'єднується з заднім модулем, що містить термінали та з'єднувачі, через цей просвердлений отвір 22 мм.

Екран на основі технології ppi для кольорових екранів Magelis STU 4.3' забезпечує чітку візуалізацію та високу якість відображення, що дозволяє створювати привабливі та вражаючі програми для промисловості.

Для налаштування терміналу Magelis STU використовується програмне забезпечення Vijeo Designer. Його розширений інтерфейс має кілька конфігуруючих вікон, що полегшує швидку розробку проектів діалогу оператора. Наявність повного набору драйверів і функцій дозволяє ефективно створювати необхідні елементи для взаємодії з машиною.

Термінали Magelis налаштовуються за допомогою експертного терміналу оператора EcoStruxure. Це інноваційне програмне забезпечення, спрямоване на зручність користувача. Використання нових концепцій навігації у поєднанні з оптимізованою графікою та анімацією дозволяє легко створювати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача. Крім того, це програмне забезпечення забезпечує гнучкість при роботі з обмеженими розмірами екрану HMI, що призводить до високоякісного дизайну.

Термінали Magelis STU встановлюють зв'язок з ПЛК через вбудовану послідовну лінію, використовуючи протоколи зв'язку Schneider Electric (Uni-TE,

Modbus), а також протоколи сторонніх виробників, таких як Mitsubishi Electric, Omron, Allen-Bradley та Siemens.

Термінал Magelis STO501 призначений виключно для зв'язку з регуляторами діапазонів Zelio Logic SR2 / SR3. Він зв'язується з цими контролерами через прямий кабель SR2CBL09, використовуючи протокол Zelio, який входить до складу Vijeo Designer V6.1. Термінали Magelis STU 531/532/735 підключені до мереж TCP / IP Ethernet через протокол Modbus TCP або протокол третьої сторони.

На задній панелі Magelis STU є:

- Знімний гвинтовий клемний блок для живлення 24 В;
- Роз'єм RJ45 для послідовного з'єднання RS-232C або RS-485 з ПЛК;
- COM1;
- Роз'єм хоста типу USB для;
- Підключення периферійного пристрою;
- Підключення USB-накопичувача;
- Передача програми;
- Роз'єм пристрою типу USB mini-B для перенесення програм (з лівого боку);
- Роз'єм RJ45 для з'єднання Ethernet TCP / IP 10BASE-T / 100BASE-TX.

Magelis STU складається з переднього модуля (складається з екрану) і заднього модуля (складається з процесора плюс термінали і роз'єму). Два модулі закріплені разом через отвір діаметром 22 мм. Система фіксації містить такі елементи:

- Кріпильна гайка;
- Ущільнення;
- Трійник проти обертання (можна використовувати як опцію);
- Механізм вивільнення: просто натисніть, щоб розділити два модулі після того, як вони були зафіксовані разом.

Багатоплатформове програмне забезпечення Vijeo Designer (рис. 3.5) розроблене для створення інтерфейсів користувача в автоматизованих системах.

Vijeo Designer, сумісний з різними терміналами, надає рішення для розробників різного рівня кваліфікації завдяки його простоті налаштування.

Можливість відтворення відео в Vijeo Designer дозволяє використовувати Magelis в нових типах додатків. Користувач може спостерігати за процесом виробництва в режимі реального часу або переглядати записи на одному екрані в будь-який момент часу.



Рисунок 3.5 – Вікно програмного забезпечення Vijeo Designer

Vijeo Designer використовує Ethernet TCP/IP комунікацію в Magelis для віддаленого доступу через web-шлюз і обміну даними між різними терміналами. Це включає передачу рецептів, архівів та інші функції з використанням вбудованих засобів безпеки.

Мова програмного інтерфейсу та документації Vijeo Designer може бути вибрана з 6 доступних мов: англійська, французька, німецька, італійська, китайська та іспанська. Програмне забезпечення також підтримує до 15 мов у одному додатку, а також наявність 40 різних шрифтів (ХВТ GT/GK). Vijeo Designer є також НМІ-компонентом в SoMachine. Vijeo Designer працює з Windows XP Professional, Windows Vista або Windows 7. Вбудований WYSIWYG-симулятор дозволяє

налагодити додаток, не завантажуючи його в термінал ХВТ G / GT / GTW або Magelis iPC. Існують два режими: повна «симуляція» спільно з симулятором змінних ПЛК (вх. / Вих., Внутрішні біти і слова), а також «симуляція пристрої», яка дозволяє підключитися до ПЛК і працювати з реальними даними.

Vijeo Designer - це комплексний інструмент управління додатком. -створення проекту, управління кількістю додатків для ХВТ GT / GK / GTW / Smart iPC / Compact iPC і PC BOX в одному проекті з спільним використанням даних між терміналами (до 8 терміналів і 300 змінних), менеджер рецептів (32 групи по 256 рецептів до 1024 інгредієнта в кожному, система перехресних посилань на змінні додатки, документування створюваного додатка, та багато інших.

Прості об'єкти в програмі можуть включати такі елементи, як точки, лінії, прямокутники, еліпси та дуги, а також різні графічні елементи, наприклад, гістограми, стрілочні індикатори, резервуари, заливку, кругові діаграми, криві, лінії, багатокутники, правильні багатокутники, криві Безьє, шкали, текст, картинки, аварійні повідомлення тощо.

Також існують попередньо сконфігуровані анімовані об'єкти, такі як перемикачі, радіокнопки, індикатори, кнопки, резервуари, гістограми, потенціометри, селектори, текстові або числові поля, нумеровані списки і багато інших. Бібліотека містить більше 4000 векторних графічних "індустріальних" об'єктів як 2D, так і 3D. Вона дозволяє легко створювати сторінки візуалізації за допомогою технології drag and drop. Бібліотеку можна розширювати, додаючи власні об'єкти.

Vijeo Designer підтримує обробку даних, використовуючи сценарії (scripts) на мові Java. Ця функція полегшує створення складної анімації, автоматизацію завдань і ведення обчислень всередині терміналу. Все це дозволяє зняти частину завдань з ПЛК.

Додаток може бути налаштоване відповідно до вимог Клієнта завдяки такій новій концепції в Vijeo Designer, як поняття ресурсу, тобто можливості визначити стилі (кольору, зображення, шрифти, текстові списки).

Щоб швидко налаштувати універсальний додаток відповідно до вимог клієнта, просто призначте стилі потрібних об'єктів.

Концепція ресурсу підтримується наступними вбудованими об'єктами: стрілочний індикатор, гістограма, смуга показчик, вимірювальний потенціометр, селектор, текстовий список і список зображень.

Заснований на нових інформаційних технологіях Vijeo Designer має велику кількість просунуті функцій для більш швидкої і надійної обробки даних.

Управління мультимедійними даними самих популярних форматів:

- відображення графічних файлів (jpeg, bmp, emf, і png);
- відображення і обробка тексту (txt);
- робота зі звуковими повідомленнями (wav).

Запис подій АПСІ трендів для зберігання і передачі. Наближення / видалення кривих трендів для детального аналізу.

Управління АПС. Кожна змінна може бути налаштована як АПС, яка налаштовується для відображення і підтвердження. Всі події АПС, як дискретні, так і аналогово-порогові, можуть бути надруковані в режимі реального часу.

Підтримка завантаження програм з кількох каналів передачі даних: через послідовний порт, Ethernet, а також Compact Flash і USB (на багатофункціональних терміналах).

Можливість зберігання резервної копії вихідного файлу програми на терміналі або іРС для полегшення обслуговування.

Для обміну даними між ПК і терміналом використовується менеджер даних, який має доброзичливий інтерфейс.

Інтегрований FTP-сервер для завантаження / вивантаження рецептів по Ethernet TCP / IP і відновлення архівів на ХВТ GT / GK / GTW терміналах і Magelis іРС.

Багатоходовий зв'язок для багатофункціональних терміналів - 2 послідовних каналу і мережу Ethernet можуть бути активні одночасно. Використання пам'яті USB (до 4 Гб) для завантаження / розвантаження додатків, відновлення даних або

для обміни рецептами. Відсилання e-mail при дії або події (e-mail - текстовий файл до 1000 символів).

Vijeo Designer може забезпечити web-шлюз для віддаленого з'єднання в будь-якому обладнанні, що має Ethernet-порт і Compact Flash або HDD, тобто в XBT G, XGT GT (XBT GT2 і вище), Magelis Smart і Compact iPC.

Web-шлюз підтримують віддалену візуалізацію додатки створеного в Vijeo Designer за допомогою Internet Explorer на будь-якому ПК з Windows 7 або Windows 10. Розмір сторінки визначається здатністю екрану терміналу, в який завантажено додаток. Web-шлюз підтримують показ тих же сторінок, що були створені в додатку Vijeo Designer, але при цьому стартова сторінка і навігація між сторінками можуть бути різними між web-шлюзом і самим терміналом.

Системи безпеки web-шлюзу виключають будь-який ризик одночасного доступу до модифікації змінних з самого терміналу і web-шлюзу.

Доступ до web-шлюзу може бути обмежений тільки тим ПК, IP-адреса яких зберігається в списку дозволених.

Деякі функції Vijeo Designer не підтримуються web-шлюзом: завершення програми (відключення), а також перезавантаження терміналу; зміна конфігурації терміналу; відтворення звукових повідомлень; відтворення збереженого відеозапису.

На додаток до web-шлюзу Vijeo Designer надає вбудовану віддалену діагностику, також засновану на web-сервісі.

Web-сервер Transparent Ready класу B15 надає можливість доступу до таких функцій: web-шлюз; анімаційні таблиці; web-інтерфейс для відновлення файлів даних (рецепти, логи, файли мультимедіа).

3.3 Розробка програмного алгоритму

Для реалізації алгоритму керування спочатку необхідно було визначити джерела інформації для ПЛК. В нашому випадку до основних джерел відносяться дані з ПЧ (датчики швидкості - енкодери), а також сигнали з панелі оператора.

Панель оператора повинна знаходитися в кабіні тракториста, завдяки з'єднанню через Ethernet, або бездротове з'єднання.

Оператор має доступ до 4 панелей (рис. 3.6):

- Головна панель;
- Панель контролю;
- Панель моніторингу;
- Панель звітів.

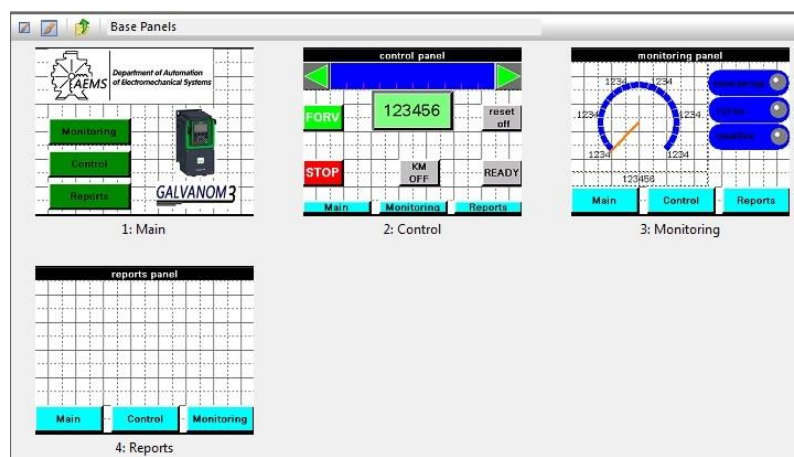


Рисунок 3.6 – Панелі оператора

В панелі контролю оператор може контролювати швидкість руху, напрямок руху, застережне відключення контакторів, скидати помилки з ПЧ.

Наступним кроком була розробки програмного алгоритму роботи системи автоматичного керування активним приводом МТА. Програмування відбувалось в програмному пакеті SoMachine.

Як було описано в 3.1 підрозділі для застереження подачі напруги на клемі ПЧ був створений холостий режим руху, під час якого контактори розмикають коло ПЧ та двигунів. На рис. 3.7 зображену програму, яка відповідаю за реалізацію даної функції.

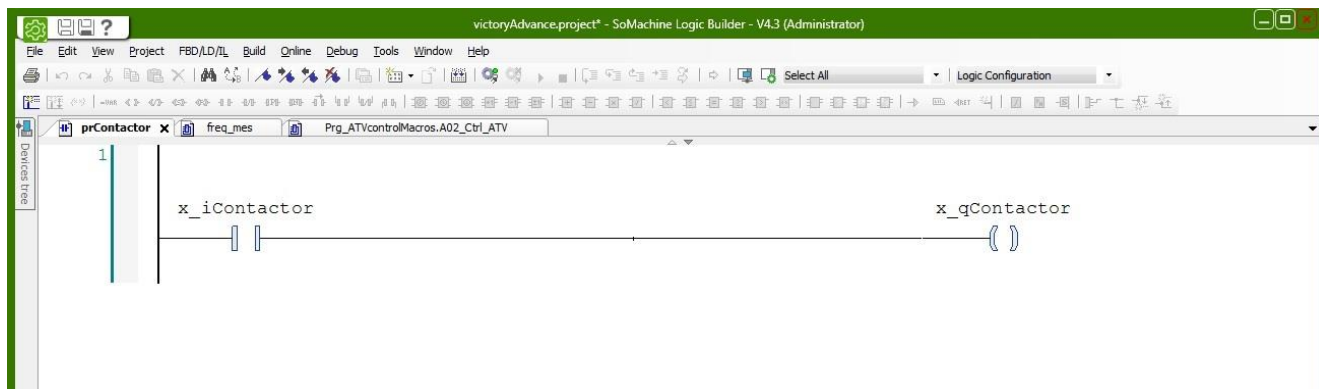


Рисунок 3.7 – Реалізація функції вимкнення контакторів

Для реалізації функції визначення швидкості руху необхідно зчитувати імпульси з над швидкого транзисторного входу програмованого логічного контролера Modicon M241 та підраховувати їх кількість за допомогою влаштованого блоку freq_measure. З цього блоку інформація передається на інші блоки в алгоритмі. За допомогою блоку множення MUL відбувається перемноження отриманої кількості імпульсів на поправочний коефіцієнт. За допомогою блоку SEL відбувається вибір між збереженим значенням швидкості та нової більш актуальної швидкості. Реалізація цих функцій в SoMachine показана на рис. 3.8.

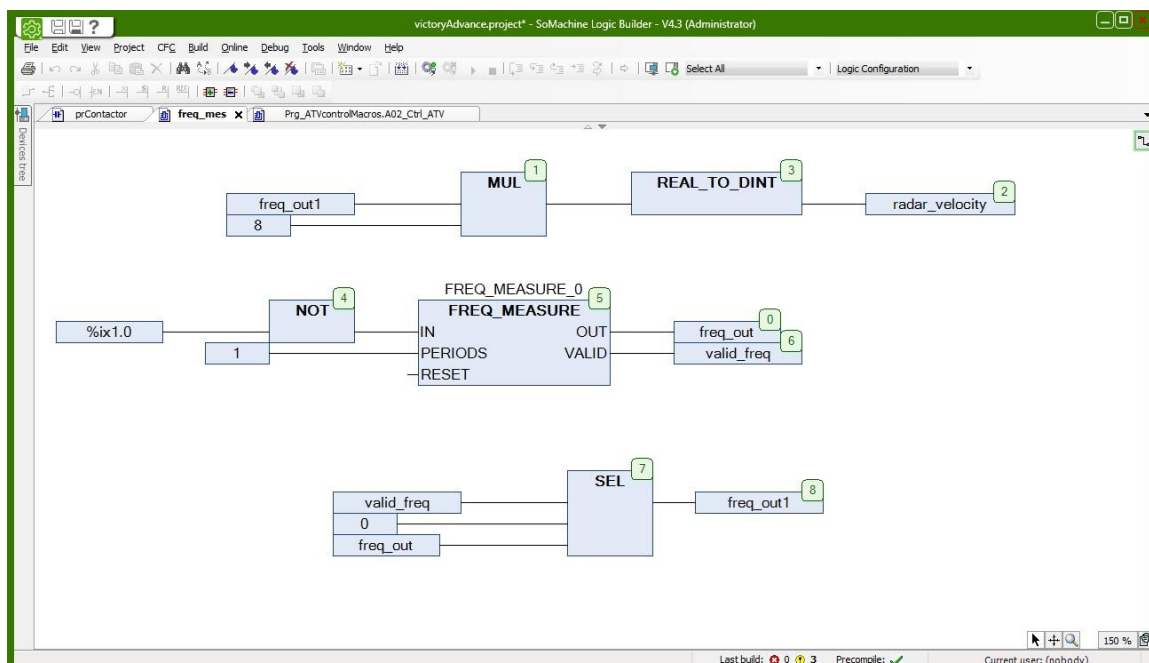


Рисунок 3.8 – Реалізація функцій розрахунку актуальної швидкості

Дані з попередньо зазначених блоків, а також з панелі оператора та датчиків передаються до головного алгоритму, який зображений на рис. 3.9 та 3.10.

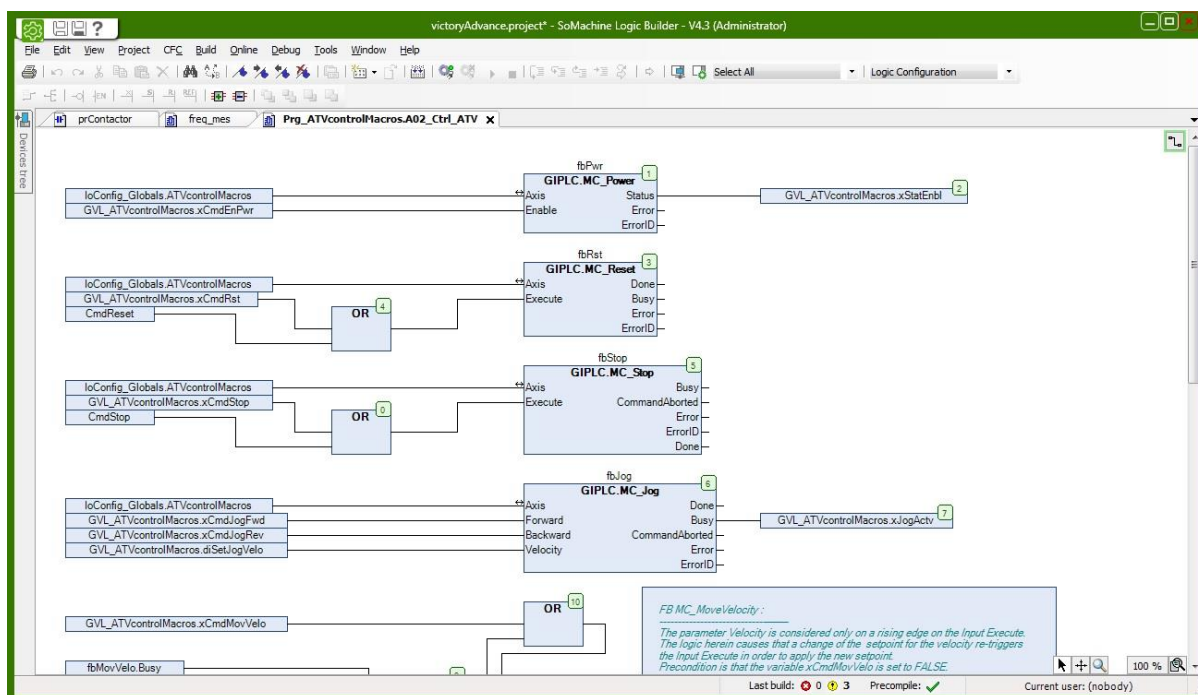


Рисунок 3.9 – Головний алгоритм, частина – 1

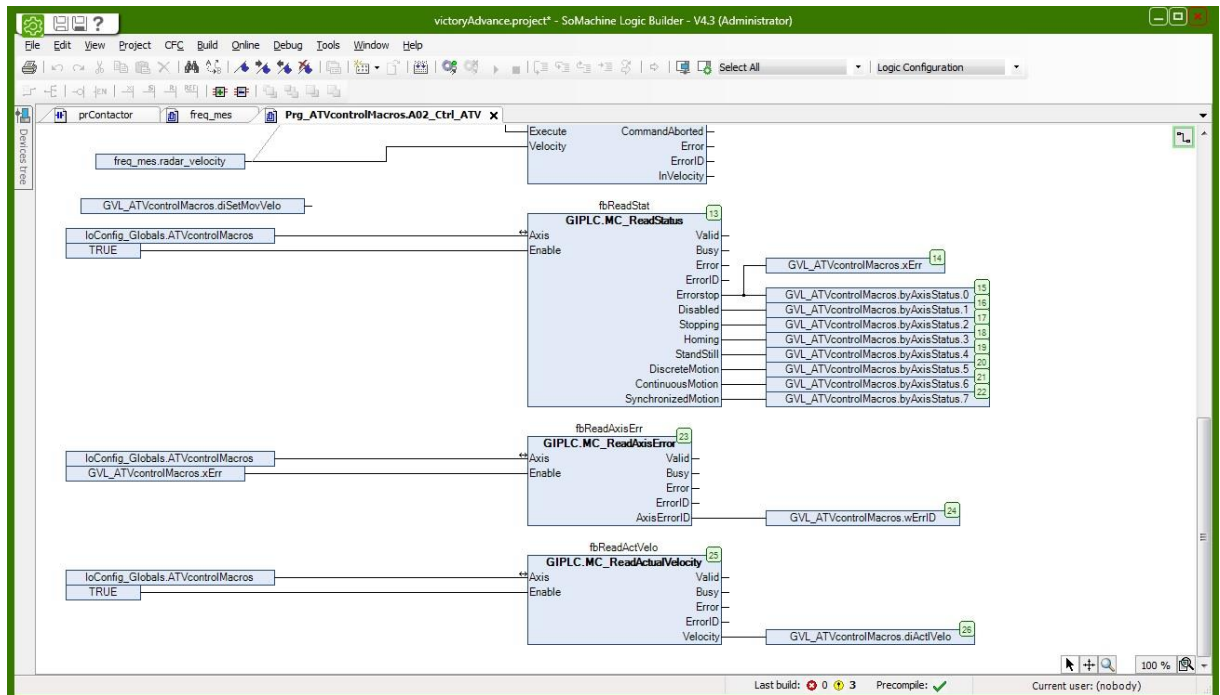


Рисунок 3.10 – Головний алгоритм, частина - 2

Висновки по розділу 3

1. Проведено вибір елементів системи;
2. Здійснено опис функціонування системи;
3. Створено програмний алгоритм керування системою автоматичного управління активним приводом сільськогосподарських машин.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА ТА СИСТЕМИ АКТИВНОГО ПРИВОДА СІВАЛКИ

4.1 Дослідження електричного двигуна у зв'язці з перетворювачем частоти та енкодером

Експериментальні дослідження проводились на заводі виробнику «ХЕЛЗ». Завдання тестування стоять поруч і навіть переплітаються з завданнями моніторингу вузлів устаткування і промислових установок в цілому. Причиною підвищеної уваги до таких систем є логічне бажання переходити від жорстких регламентних термінів виведення об'єктів з експлуатації для ремонту до проведення ремонту по фактичному стану. Є об'єкти, для яких планові регламенти ремонту чреваті великими проблемами у випадках, коли об'єкт не дотягує до планового терміну і виходить з ладу, створюючи серйозні проблеми для людей, інфраструктури, транспорту, промисловості, екології. У таких випадках випробувальний стенд трансформується в пристрій безперервного моніторингу об'єкта або його відповідального вузла. Простим прикладом може служити безперервний моніторинг стану підшипників колісних пар залізничного транспорту. В ідеальному випадку, коли підшипники встановлені строго ідентично (вузли та гнізда обойм підшипників переднього і заднього колеса пари мають однакові кутові координати) сигнали вібрації від переднього і заднього колеса збігаються і різниця їх (при ідеальності рейки) дорівнює нулю. Відхилення від нуля є ознакою погіршення стану одного з підшипників. Таке безперервне тестування стану може замінити випробування підшипників на стенді, яке пов'язане з витратними роботами з розбирання та збирання агрегату. (В реальності сигнали від переднього і заднього колеса завжди зрушені по фазі і цей зсув повільно змінюється, що враховується в пристрої моніторингу).

Ще одним часто вживаним способом безперервного тестування вузлів промислового обладнання є використання реактивних датчиків крутного моменту. Вони відрізняються простотою і дешевизною, так як використовують найпростіші

тензометричні схеми вимірювання сили і ніяк не пов'язані безпосередньо з обертовими деталями. Недоліком такого тестування є спотворення сигналу в області підвищених частот, так як маса двигуна грає демпфуючу роль. При низькочастотних і статичних навантаженнях випробувальні стенди з реактивними датчиками мають великі переваги перед досить складними датчиками крутного моменту з відповідними муфтами.

4.2 Створення макету системи активного приводу

На базі кафедри автоматизованих електромеханічних систем була створена модель для тестування алгоритму керування.

Під час роботи проводились консультації з представниками компанії Schneider Electric. Розглядалися питання вибору електричного двигуна, синтезу системи автоматичного керування, підбору датчиків, перетворювачів частоти, програмованого логічного контролера. Також представники компанії надавали обладнання для налагодження програмного алгоритму на макеті рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Обладнання компанії Schneider Electric

Рама моделі була створена зі сталевого профілю, який забезпечував механічну міцність. Для живлення системи електричною енергією використовувався бензинова генераторна установка потужністю 2.2 кВт.

Компанією Schneider Electric були надані ПЧ Altivar 930. Вони керували двома електричними двигунами потужністю 0,37 кВт. Також в систему входили блок живлення на 24В, програмований логічний контролер Twido. За допомогою контролера, а також комп'ютерів відбувалось керування частотними перетворювачами рис. 4.2. Використовувалось програмне забезпечення Twido Suit.



Рисунок 4.2 – Керування ПЧ за допомогою комп'ютерів

4.3 Встановлення системи активного приводу на посівний комплекс «Златник» виробника «Лозівські машини»

Посівний комплекс «Златник» рис. 4.3 - машина для підготовки ґрунту і сівби, що застосовується у всіх технологіях: може сіяти як за мінімальною, так і за нульовою технологіями, завдяки висівають блоку с посиленними дводисковими

сошниками (оснащення хвилястими дисками, встановленими перед кожним сошником, дозволяє працювати за більшою кількістю пожнивних залишків).

«Златник» може працювати на різних видах ґрунту і при цьому висівати широкий спектр культур - від дрібносім'яних, таких як мак і рапс, до сої та квасолі без змін і доповнень висівного апарату. Одночасно з посівом комплекс може вносити в засіваються рядки стартові мінеральні добрива.



Рисунок 4.3 – Посівний комплекс «Златник»

Встановлення обладнання на посівний комплекс відбувалось на базі виробника «Лозівські машини». Було встановлено генераторну установку, два електричні двигуни та шафи керування і силового обладнання. Компонування обладнання зображено на рис. 4.4.

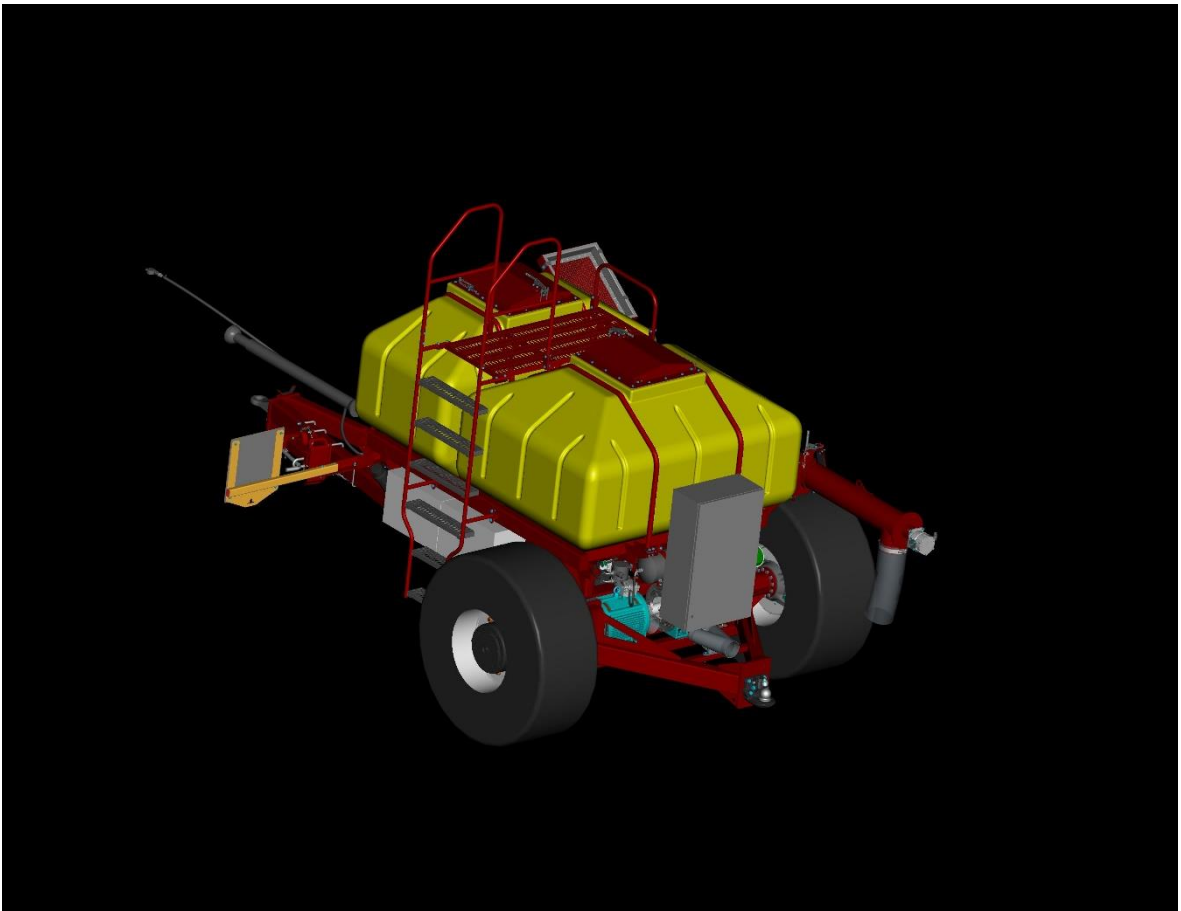


Рисунок 4.4 – Компонування обладнання

Генераторна установка отримує крутний момент від валу відбору потужності трактора, далі її вироблена ГУ передається до шафи керування.

В шафах її розподіляється до споживачів. Частина йде до блоку живлення 24В, який живить панель оператора та ПЛК. Інша частина йде до ПЧ, а звідти до двигунів.

Висновки по розділу 4

1. На заводі «ХЕЛЗ» було виконано налаштування ПЧ для роботи з електричним двигуном;

2. На базі кафедри було розроблено макет, де було встановлено необхідне обладнання і перевірено програмний алгоритм;

3. Проведені експериментальні дослідження на базі Інституту механізації та електрифікації сільського господарства, м. Глеваха, Київська обл.

5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ АКТИВНОГО ПРИВОДУ СІВАЛКИ

5.1 Заходи безпечної експлуатації електроприводів

За типом захисту від ураження електричним струмом електропривод відноситься до I класу [22]. З метою забезпечення безпеки при підключенні електроприводу і його обслуговуванні необхідно дотримуватися "Правила улаштування електроустановок" [22], "Правила експлуатації електроустановок споживачів" та "Міжгалузеві правила по охороні праці (правила безпеки) при експлуатації електроустановок".

До роботи з електроприводом допускаються особи, які не мають медичних протипоказань і пройшли інструктаж з техніки безпеки.

Місце проведення роботи електроприводу:

- а) приміщення без підвищеної небезпеки;
- б) приміщення з підвищеною небезпекою.

До роботи з електроприводом (класу I) в приміщеннях з підвищеною небезпекою допускається персонал, що має групу II. Підключення, технічне обслуговування (регулювання, перевірка) електроприводу спільно з пристроями захисного відключення від електричної мережі повинен виконувати електротехнічний персонал, що має групу III, який експлуатує цю електричну мережу, відповідно до вимог [22].

Заборонено використовувати електропривод з пристроями захисного відключення в умовах впливу крапель і бризок, а також на відкритих майданчиках під час снігопаду та дощу. В приміщеннях з підвищеною небезпекою пристрої захисного відключення повинні бути розміщені в щитках зі ступенем захисту не нижче IP 44, при зовнішній установці - не нижче IP 54. При підключенні електроприводу з пристроями захисного відключення на будівельному майданчику, номінальний диференціальний відключаючий струм повинен бути не більше 30 мА. [22].

Електропривод із захисними вимикачами має бути введений в електричну схему послідовно з автоматичним вимикачем або запобіжником [22]. При цьому номінальний струм навантаження захисних вимикачів повинен бути на рівень вищий або рівний номінальному струму автоматичного вимикача або запобіжника.

Обслуговуючому персоналу забороняється:

а) проводити підключення електроприводу з пристроями захисного відключення через мережеві подовжувачі на відкритих майданчиках;

б) експлуатувати несправний електропривід, якщо спостерігається пошкодження струмопідвідного кабеля та його захисного кожуха, виявляється дим та запах, характерний для горіння ізоляції, виникає неприродний шум, відчувається нечітка робота вимикача або має місце утворення тріщин на рукоятці вимикача;

в) залишати електропривод, підключеним до мережі, без нагляду;

г) усувати несправності електроприводу, підключеного до електричної мережі;

д) натягувати і перекручувати струмопідвідний провід;

Необхідно вимикати електропривід за допомогою вимикача при раптовій зупинці внаслідок втрати напруги в мережі або заклинювання рухомих деталей. Включення електропривода допускається лише після усунення несправності. [22].

Всі види технічного обслуговування повинні проводитися після відключення електроприводу від мережі.

5.2 Підготовка до роботи електроприводу і порядок його роботи

Застосовувати електропривод допускається тільки відповідно до призначення. При експлуатації електропривода необхідно дотримуватися всіх вимог по експлуатації, не піддавати його ударам, перевантаженням, дії бруду, нафтопродуктів [22].

При підготовці до роботи необхідно оглянути електропривод і переконатися:

- а) відповідність комплектності;
- б) в надійності затягування різьбових з'єднань;
- в) у справності струмопідвідного дроту, його захисної трубки;
- г) у справності вимикача, наявності та справності захисного кожуха вентилятора;
- д) у відповідності напруги і частоти струму мережі до напруги і частоти струму електропривода;
- е) перевірити роботу електроприводу на холостому ходу.

Під час робіт на електродвигуні встановлюється захисне заземлення від напруги дотику на всій ділянці кабельної лінії, яка з'єднує електродвигун з секцією РП, щитом або складанням. У випадках, коли роботи на електродвигуні передбачають тривалу тривалість, не виконуються або перериваються на кілька днів, від'єднана кабельна лінія також повинна бути заземлена з боку електродвигуна. Якщо перетин жил кабелю не дозволяє використовувати переносні заземлення, то в електродвигунів, які працюють при напрузі до 1000 В, можна заземлити кабельну лінію мідним провідником перерізом не менше перетину жил кабелю, або ж з'єднати між собою жилу кабелю та ізолювати їх [25]. Ці заходи заземлення або з'єднання жил кабелю слід включити в оперативну документацію поряд з переносним заземленням.

Перед початком робіт на електродвигунах, які можуть обертатися завдяки пов'язаним з ними механізмам (таким як димососи, вентилятори, насоси і т. д.), необхідно замкнути на замок штурвали запірної арматури, таких як засувки, вентиля, шибери і т. п. Крім того, слід прийняти заходи для гальмування роторів електродвигунів або від'єднання з'єднувальних муфт. Будь-які необхідні операції з запірною арматурою повинні бути узгоджені з начальником зміни технологічного цеху або дільниці, з докладним записом в оперативному журналі. [25].

У схемах ручного дистанційного та автоматичного керування електроприводами запірної арматури та направляючих апаратів обов'язково має бути відключена напруга. Штурвали засувки, шиберів та вентилів повинні бути позначені плакатами "Не відкривати! Працюють люди". Ключі та кнопки керування електроприводами запірної арматури мають бути позначені плакатами "Не вмикати! Працюють люди" [22].

На електродвигунах, аналогічних або близьких за розмірами до тих, на яких проводяться роботи, слід розмістити плакати "Стій! Напруга", незалежно від того, чи вони знаходяться в роботі чи припинені. [22].

Проведення робіт на електродвигунах однієї напруги, які виведені в ремонт агрегатів, технологічних ліній та установок, допускається за одним нарядом. Оскільки робочі місця заздалегідь підготовлені, робітники можуть одночасно виконувати роботи, і не потрібно влаштовувати переведення з одного робочого місця на інше. Проте важливо уникати випробування або включення в роботу будь-якого з електродвигунів, зазначених у наряді, до повного завершення робіт на інших електродвигунах. [22].

1. Перевірте робочі місця та обладнання:

- Переконайтеся, що всі робочі місця та обладнання заздалегідь підготовлені та відповідають вимогам безпеки.
- Впевніться, що наряд на роботу на електродвигунах виготовлений і оформлений правильно.

2. Підготовка до ввімкнення:

- Перевірте стабільність напруги та відсутність коливань в електричній мережі.
- Впевніться, що всі засувки, вентиля, шибери та інша запірна арматура, пов'язана з електродвигуном, закрита та замкнена на замок.

3. Заземлення та вивішування плакатів:

- Проведіть заходи з захисту від напруги, зокрема, заземлення кабельної лінії та вивісьте плакати на штурвалах і кнопках керування, попереджаючи про роботу.
- Впевніться, що на всіх електродвигунах, включаючи схожі за розмірами, вивішені плакати "Стій! Напруга".

4. Включення електродвигуна для випробування:

- Поступово включайте електродвигун, слідкуючи за його роботою та можливими відхиленнями.

- Виконайте необхідні випробування та перевірки відповідно до технічних вимог та процедур.

5. Працівники на робочих місцях:

- Переконайтеся, що працівники, які працюють на електродвигунах, дотримуються вимог щодо безпеки.

- Виконайте контроль за правильністю виконання робіт та узгодженими процедурами.

6. Завершення робіт:

- По завершенні робіт на електродвигунах, розімкніть їх, призупинте випробування та робочі процеси.

- Заверште роботу з обладнанням, відключіть електродвигуни та забезпечте їхню безпечну зупинку.

5.3 Заземлення

Опір заземлювального пристрою, використовуваного для захисного заземлення відкритих провідних частин, повинен відповідати умові, визначеній нормативними документами та стандартами для конкретної країни або регіону. Опір заземлення є важливим параметром, який визначає ефективність роботи системи заземлення.

Опір заземлювального пристрою повинен відповідати встановленим межам, таким як:

1. Заземлення згідно з Міжнародними Електротехнічними Комітетом (МЕК):

- У відповідності з ІЕС 60364, опір заземлення повинен бути менший за 1 Ом для категорії АС-15 та 2 Ом для DC-13 (ІЕС 60947).

2. Заземлення згідно з Національним Електричним Кодексом (NEC) у США:

- Відповідно до розділу 250.56 NEC, опір заземлювального електрода повинен бути менше 25 Ом для систем змінного струму та менше 1 Ом для систем постійного струму.

3. Заземлення згідно з Європейським стандартом EN 50522:

- EN 50522 визначає вимоги до систем заземлення і рекомендує, щоб опір заземлення не перевищував 10 Ом для промислових об'єктів.

Важливо враховувати, що конкретні вимоги можуть відрізнятися залежно від конкретного застосування, характеристик середовища та національних чи регіональних нормативів. Завжди слід дотримуватися встановлених стандартів та рекомендацій з безпеки для заземлення.

Опір заземлюючого пристрою, використовуваного для захисного заземлення відкритих провідних частин повинно відповідати умові:

$$R \leq \frac{U_{PP}}{I};$$

де R – опір заземлюючого пристрою, Ом;

U_{PP} – напруга дотику, значення якої приймається рівним 500В;

Не вимагається приймати значення опору заземлюючого пристрою менше 4Ом.

Природні заземлювачі використовуються для створення ефективної системи заземлення. Деякі природні заземлювачі включають:

1. Металеві споруди:

- Металеві споруди, такі як водопровідні труби, сталеві конструкції будівель, можуть служити природними заземлювачами.

2. Закладені металеві структури:

- Металеві предмети, закопані в землю, такі як металеві сітки чи арматурні стержні, можуть використовуватися як природні заземлювачі.

3. Металеві труби для свердловин:

- Труби, які вбудовані в землю для свердловин, можуть служити ефективним природнім заземлювачем.

4. Гільзи та заземлювальні електроди:

- Гільзи та спеціально розроблені заземлювальні електроди, які вставляються в землю, також можуть використовуватися для створення ефективного заземлення.

5. Глибокі металеві об'єкти:

- Глибоко розташовані металеві об'єкти, такі як сталеві артикуляції трубопроводів або інші металеві структури, можуть служити добрими заземлювачами.

6. Металеві відра або бочки, закопані в землю:

- Металеві відра, бочки чи інші контейнери, закопані в землю, можуть бути використані для створення природного заземлення.

7. Земельні шари з високою провідністю:

- Земельні шари, які мають високу провідність, особливо вологі, можуть виступати як ефективні природні заземлювачі.

При використанні природних заземлювачів важливо враховувати місцеві умови ґрунту, його провідність та інші фактори для забезпечення безпеки та ефективності системи заземлення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Було проведено огляд варіантів реалізації активного приводу на сільськогосподарських машинах та агрегатах. В результаті огляду було виявлено переваги та недоліки різних варіантів

Описана математична модель руху машинно-тракторного агрегату з пасивним і активним причепом. Проведені технічні консультації з представниками заводу виробника «ХЕЛЗ» щодо вибору електричного двигуна та здійснене математичне моделювання тягової установки.

У відповідності до вимог технічного завдання були висунуті вимоги до елементів системи та їх взаємозв'язків. Основними елементами є: перетворювач частоти, програмований логічний контролер, панель оператора, датчики та енкодери, апарати захисту та керування.

Був розроблений програмний алгоритм керування автоматичною системою керування активним приводом машинно-тракторного агрегату. Реалізовані функції: руху вперед, реверсування, холостого ходу.

На базі кафедри автоматизованих електромеханічних систем був розроблений макет для перевірки та налагодження програмного алгоритму.

В Інституті механізації та електрифікації сільського господарства проводились експериментальні дослідження на промисловому зразку посівного комплексу «Златник».

В результаті досліджень було доведена працездатність системи, яка дозволяє зменшити розміри використовуваних тракторів, кількість використовуваного палива. Як кінцевий результат зменшується шкідливі викиди в атмосферу, а також ціна на продукти сільськогосподарського виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Moreda, G.P. & Muñoz-García, Miguel & Barreiro, Pilar. (2016). High voltage electrification of tractor and agricultural machinery – A review. *Energy Conversion and Management*. 115. 117-131. 10.1016/j.enconman.2016.02.018.
2. Дроздов П. А. Выбор устройств плавного пуска Altistart и преобразователей частоты Altivar. / П. А. Дроздов А. В. Потапов// Техническая колекция Schneider Electric. – випуск №26, 2009. – 100 с.
3. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro Ельперін, І. В., Пупена, О. М., Підручник. К.: Видавництво Ліра-К, 2017 – 618с.
4. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах : навчальний посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін, Н. М. Луцька, А. П. Ладанюк. – К. : Ліра, 2011. – 552 с.
5. Аналіз конструкцій та розрахунків автомобілів. Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090258 «автомобілі та автомобільне господарство» денної та заочної форм навчання [Текст] / укладач М.О. Ганзюк. – Люцьк.: ЛНТУ, 2011. – 196 с.
6. Технологічне проектування автотранспортних підприємств : навч. посібник / С. І. Андрусенко, В. О. Білецький, П. І. Бортницький та ін. ; рец.: О. М. Коробочка, В. В. Рудзінський, В. В. Березняцький. – К. : Каравела, 2009. – 368 с.
7. Автомобілі: робочі процеси та основи розрахунку:навчальний посібник/Ю. А. Буренніков, А. А. Кашканов, В. М. Ребедаило.– Вінниця: ВНТУ, 2013. –283 с.
8. Черв'яков, В. Д. Автоматизовані електромеханічні системи : конспект лекцій / В. Д. Черв'яков, П. В. Леонт'єв, С. В. Соколов. — Суми : СумДУ, 2022. — 253 с.
9. Багатовимірні системи автоматичного керування : конспект лекцій для студ. спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" освітнього ступеня "магістр" усіх форм навчання / уклад. : Г. В. Кулінченко, А. В. Павлов, П. В. Леонт'єв. Суми : Сумський державний університет, 2023. 46 с.

10. Перетворювачі частоти Altivar21 для асинхронних и синхронных двигателей мощностью от 0,75 до 800 кВт. Каталог. Schneider Electric, 2011. – 313с.
11. Концепція розвитку сільськогосподарської техніки з використанням гібридного приводу/ М.С. Сорокін, М.Л. Лисиченко, В.В. Ясак //Інженерія природокористування. - 2016. - № 2. - С. 25-28. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk_2016_2_6
12. Вимірювальний засіб показників мобільних машин [Текст] / Р. В. Антощенко, М. С. Сорокін, В. О. Стеценко, В. М. Антощенко // Інноваційні розробки в аграрній сфері : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. - Харків, 2018. - С. 62.
13. Основи електропривода: підручник / Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.В. Савченко, І.М. Голодний.– К.: Видавництво Ліра-К, 2017. — 524 с.
14. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. – 2-е вид. перероб. і доп. –Д., Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.
15. MATLAB і моделювання динамічних систем. Навчальний посібник. Глава 4. Засоби взаємодії Matlab з Simulink. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. – 63 с.
16. Гераїмчук, М. Д. Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK [Електронний ресурс] : комп'ютерний практикум / М. Д. Гераїмчук, Ю. Ф. Лазарєв, Т. О. Толочко ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 3,57 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2006. – 175 с. – Назва з екрана.
17. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Коржик. – Київ : НТУУ “КПІ”, 2016. – 174 с. : іл.
18. Practical MATLAB Deep Learning: A Project-Based Approach. Michael Paluszek, Stephanie Thomas,–Apress, 252 p – 2020.
19. Мэтьюз Дж. Численные методы. Использование MatLab / Джон Г. Мэтьюз, Кертис Д. Финк. – М. : “Вильямс”, 2001. – 720 с.
20. Довгань С. М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. – Дніпропетровськ: НГА України, 2001. – 137 с.
21. Галкін П.В., Ключник І.І. Програмування ПЛК в CODESYS: навчальний посібник/ Галкін П. В., Ключник І. І.- Харків: ФОП Панов А.М. - 2019. - 92 с.

22. Правила улаштування електроустановок. Харків: Форт, 2017. 736 с.
23. Основи безпечної експлуатації електроустановок: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 149 с., рис. 3, табл. 5.
ISBN
24. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. - 357 с
25. Охорона праці: підручник / В. Г. Грибан, О. В. Негодченко. – Київ: Центр учбової літератури, 2021. 280 с.
26. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Експлуатація систем електропостачання» / О. І. Акімов [та ін.]. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 62 с.