

ФТІ, ЕТФ

(повне найменування інституту, назва факультету)

Електричні та електронні апарати

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему "Дослідження дводвигуневого електроприводу потужністю 5 кВт"

Виконав: студент 2 курсу, групи Е-810м
напряму підготовки (спеціальності)

141 "Електроенергетика, електротехніка, та
електромеханіка"

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Новічков Д.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник Коцур М. І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Запоріжжя - 2021 року

національний університет "Запорізька політехніка"

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ФТІ, ЕТФКафедра "Електричні та електронні апарати"Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр

Напрямок підготовки _____

(код і назва)

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка, та електромеханіка"

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮЗавідувач кафедри П. Д. Андрієнко

“ _____ ” _____ 20 _____ року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**Новічкову Дмитру Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Дослідження дводвигунного електроприводу потужністю 5 кВт"керівник проекту (роботи) Коцур Михайло Ігорович, канд. техн. наук, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "21" 10 2021 року №392

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) $P_n=5,0$ кВт; $m=3$; $f=50$ Гц; $U=380$ В; синхронна частота обертання $n=1000$ об/хв $I_n=12,8$ А, К.К.Д. – 80%, коефіцієнт потужності – 0,74. Номінальна напруга ротора – 176 В. Номінальний струм ротора – 15,5А4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити Вступ. 1. Огляд існуючих систем для дводвигунного електроприводу з асинхронними двигунами з фазними роторами. 2 Комплексна імітаційна модель дводвигунного електроприводу. 3 Дослідження електромеханічних властивостей дводвигунного електроприводу. 4. Економічна оцінка двигуна. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Презентація (ФА4); 2. ГКІЮ.715005.001П (ФА1) Комплексна імітаційна модель.2. ГКІЮ.715005.002П (ФА1) Результати дослідження електромеханічних процесів електроприводу

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технічний	доц. Коцур М.І.		
Економічний	доц. Лоза С.П.		
Охорона праці	ст. викл. Журавель М.О.		
Нормоконтроль	доц. Коцур М.І.		

7. Дата видачі завдання 10.02.2021**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд існуючих систем для дводвигунного електроприводу з асинхронними двигунами з фазними роторами	10.02.21-10.04.21	
2	Комплексна імітаційна модель дводвигунного електроприводу	10.02.21-14.06.21	
3	Дослідження властивостей електромеханічних дводвигунного електроприводу	14.06.21-15.11.21	
5	Економічна оцінка двигуна	15.11.21-25.11.21	
6	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.10.21-25.11.21	
7	Оформлення креслення та плакатів	25.11.21-07.12.21	
8	Оформлення ПЗ	до 15.12.21	

Студент

_____ Д. А. Новічков
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ М. І. Коцур
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, СИНХРОНІЗАЦІЯ,
ШВИДКІСТЬ, КОВЗАННЯ

ПЗ: 95с., 28 рис., 8 табл., 56 джерел.

Предметом дослідження є дводвигуневий електропривод з двома асинхронними двигунами серії MTF-112-6 потужністю 5 кВт, та синхронною швидкістю 1000 об/хв.

Об'єктом дослідження є електромагнітні та електромеханічні процеси в асинхронному електроприводі.

Мета проекту – розробка комплексної імітаційної моделі та дослідження механічних властивостей дводвигуневого електроприводу.

Метод дослідження – чисельні методи розв'язання алгебраїчних та диференційних рівнянь, та математичного моделювання з використанням ПК.

Анотація. Виконано огляд існуючих систем електроприводу для двигунів з фазними роторами. Розглянуті математичні моделі одно та дво-масових систем жорсткого зв'язку валів привідних двигунів. Розроблено комплексну імітаційну модель дводвигуневого електроприводу, яка містить: модель асинхронного двигуна з фазним ротором; математична модель кола випрямленого струму ротора за схемою імпульсного перетворювача постійної напруги другого роду; модель випрямляча та інвертора; модель жорсткого механічного зв'язку між валами асинхронних двигунів, системи регулювання щодо синхронізації швидкостей обертання асинхронних двигунів ротором. Проведені дослідження електромагніти та електромеханічних процесів у дводвигуневому електроприводі. Розробку імітаційної моделі виконано за допомогою програми MatLAB на ПК.

Актуальність. Основна маса експлуатованих кранів мають електроприводи з релейно-контакторних управлінням, які мають ряд загальновідомих недоліків: низький коефіцієнт потужності, немає можливості реалізації плавності ходу крана. Останній призводить до істотного зносу складових частин механізмів

пересування. Для модернізації кранових механізмів запропоновані ряд технічних рішень на основі параметричних джерел струму. Зазначені рішення досить прості, але мають ряд недоліків, які пов'язані зі збільшеним встановленою потужності індуктивно ємнісного перетворювача. Існує новий принцип побудови імпульсного перетворювача постійної напруги (ІППН) другого роду, заснований на формуванні пускових і регулювальних характеристик на основі імпульсно регулювання (ІТР) в колі ротора АД. Такий спосіб дозволяє використовувати сучасні досягнення в силовій електроніці.

Наукова новизна:

Розроблено імітаційну моделю дводвигунного електроприводу, яка дозволяє врахувати всі особливості протікання електромагнітних, енергетичних процесів як в двигунах так і у перетворювачі, розглянути механічні властивості асинхронних двигунів з урахуванням жорсткого зв'язку між їхніми роторами.

Практична цінність:

Досліджено неузгодженість швидкостей двох АД в системі дводвигунного електроприводу. Встановлено, що для двигунів МТФ-112-6. 5кВт, досягнуто зменшення неузгодженості обертання роторів в 3-4 рази, що збільшує ефективність та надійність дводвигунного електроприводу.

Проведено дослідження впливу положення візку кран-балки мостового крану на рівень неузгодженості роторів двох АД. Доведено, що при переміщенні візку на відстань більшу ніж 20-40% від центру кран-балки при використанні перетворювача необхідно переходити на штучну характеристику обертання роторів АД.

Публікація: Новічков Д.А. Дослідження режиму гальмування асинхронного електроприводу з фазним ротором [Текст] / М.І. Коцур, Д.С. Андрієнко, Д.А. Новічков // Тиждень науки-2021. Електротехнічний факультет: наук. – практ. конф., 19-23 квітня 2021 р.: Запоріжжя, 2021. – С. 93-94.

ЗМІСТ

Реферат.....	3
Вступ.....	8
1. Огляд існуючих систем для дводвигунного електроприводу з асинхронними двигунами з фазними роторами	9
1.1. Аналіз систем регулювання електроприводу.....	9
1.2 Особливості застосування жорсткої механічної ланки	17
2 Комплексна імітаційна модель дводвигунного електроприводу	21
2.1 Структурна схема розробки комплексної математичної моделі	21
2.2 Математична модель асинхронного двигуна з фазним ротором	22
2.3 Математична модель перетворювача	30
2.4 Модель системи керування перетворювачем	36
2.5 Математична модель механічної жорсткого зв'язку.....	40
3 Дослідження електромеханічних властивостей дводвигунного електроприводу	44
3.1 Дослідження електромагнітних процесів в дводвигунному електроприводі	44
3.2 Дослідження електромеханічних процесів в дводвигунному електроприводі	47
4. Економічна оцінка асинхронного двигуна.....	54
4.1 Характеристика продукції інноваційного проекту, оцінка ринку збуту	54
4.2 Собівартість і ціна виробу	55
4.3 Капітальні витрати	61
4.4 Експлуатаційні витрати	62
4.5 Економічна ефективність інноваційного проекту.....	65
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	68
5.1 Аналіз потенційних небезпек	68

5.2 Заходи з охорони праці	70
5.2.1 Заходи по забезпеченню безпеки.....	70
5.2.2 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці.....	74
5.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	79
5.3.1 Заходи з пожежної безпеки.....	79
5.3.2 Забезпечення техногенної безпеки	81
5.3.3 Дослідження можливих наслідків при вибуху газоповітряної суміші	83
Висновки.....	86
Перелік джерел посилання.....	88

ВСТУП

Основна маса експлуатованих кранів мають електроприводи з релейно-контакторних управлінням, які мають ряд загальновідомих недоліків: низький коефіцієнт потужності, немає можливості реалізації плавності ходу крана. Останній призводить до істотного зносу складових частин механізмів пересування, що обумовлено появою кривизни колісних пар і рейок крана.

Наслідком цього є поява незадовільних характеристик для узгодженого обертання асинхронних двигунів з фазним ротором (АД).

Сучасна тенденція усунення зазначених недоліків пов'язано із застосуванням частотного регульованого електроприводу. Однак таке рішення призводить до суттєвого ускладнення, а також подорожчання електроприводу.

Для модернізації кранових механізмів запропоновані ряд технічних рішень на основі параметричних джерел струму. Зазначені рішення досить прості, але мають ряд недоліків, які пов'язані зі збільшеним встановленою потужності індуктивно ємнісного перетворювача.

Існує новий принцип побудови імпульсного перетворювача постійної напруги (ІППН) другого роду, заснований на формуванні пускових і регульовальних характеристик на основі імпульсно-токового регулювання (ІТР) в колі ротора АД. Такий спосіб дозволяє використовувати сучасні досягнення в силовій електроніці, а саме об'єднати переваги асинхронно вентильного каскаду та класичних схем імпульсного регулювання.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДВОДВИГУНЕВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ З АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ З ФАЗНИМИ РОТОРАМИ

1.1 Аналіз систем регулювання електроприводу

Регулювання швидкості асинхронного двигуна (АД) в схемах АВК здійснюється шляхом зміни ковзання двигуна при постійній швидкості обертання електромагнітного поля. Особливістю даного способу є корисне використання потужності ковзання. На рис.1.1 представлений класичний варіант схеми керування асинхронного двигуна з використанням АВК [1, 2]. Основна складність корисного використання енергії ковзання полягає в тому, що частота ЕРС ротора і, відповідно, струм ротора змінюється залежно від ковзання (швидкості) двигуна. Тому, в схемах АВК струм ротора асинхронного двигуна з фазним ротором АД, як правило, випрямляється за допомогою некерованого випрямляча В (рис. 1.1). Таким чином, в коло випрямленого струму ротора вводиться додаткова проти ЕРС постійного струму - ЕРС інвертора. При цьому, величина випрямленого струму ротора визначається різницею випрямленою ЕРС ротора, ЕРС інвертора і еквівалентним опором кола. Трансформатор Т служить для узгодження напруги мережі і напруги ротора АД. Потужність, споживана з мережі через обмотку статора, без врахування втрат в статорі, перетвориться в потужність обертаючого магнітного поля. Остання породжує механічну потужність, реалізовану на валу АД та електричну, трансформовану в обмотках ротора (потужність ковзання).

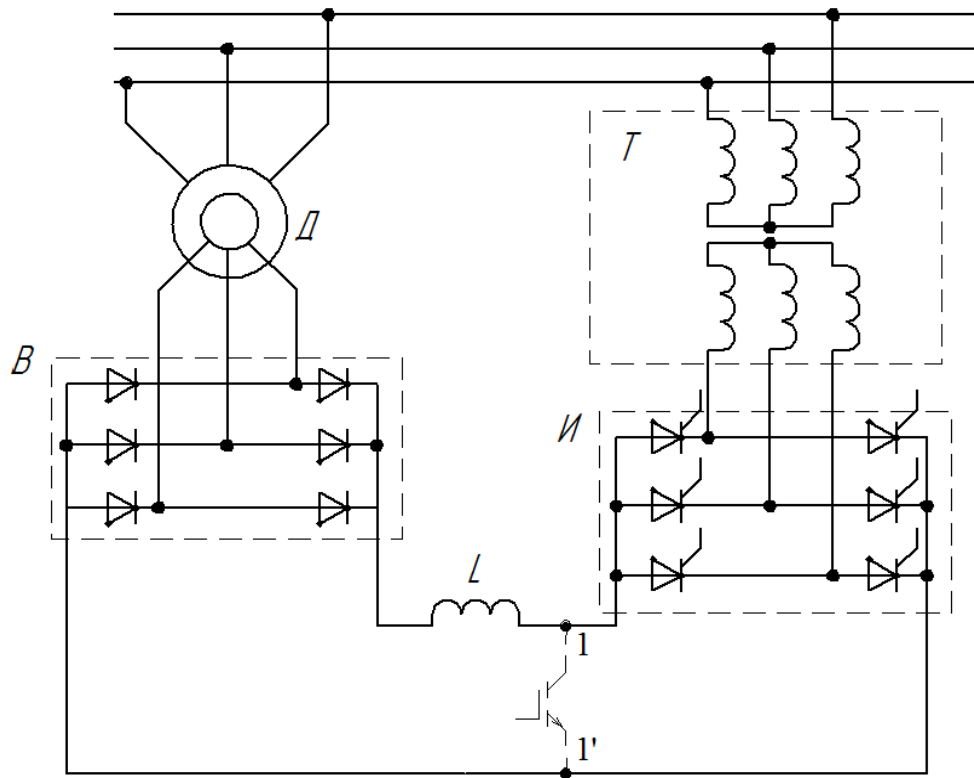


Рисунок 1.1 – Принципова схема асинхронного вентильного каскаду

Потужність ковзання, без врахування втрат в обмотці ротора АД, випрямляча, інвертора і узгоджувального трансформатора інвертора, повертається в мережу. Регулювання швидкості здійснюється зміною значення ЕРС інвертора за допомогою кута керування β [2].

Даний спосіб є оптимальним для приводу механізмів, для яких не потрібно, як правило, зниження швидкості нижче 50% від номінальної. Тоді трансформатор і інвертор можуть мати потужність у 2 рази менше, ніж потужність асинхронного двигуна. Даний спосіб керування застосовується, головним чином, для механізмів, які працюють в тривалому режимі роботи в умовах рідкісних пусків та гальмувань [3,4].

До недоліків даного способу відноситься: збільшення встановленої потужності інвертора для режимів пуску і регулювання в широких межах; для неглибоких діапазонів регулювання, схема ускладнюється системою резисторного пуску; низький коефіцієнт потужності приводу при швидкостях, близьких до номінальної.

Одним із варіантів АВК є введення в роторне коло силового ключа, що підключається до точок 1-1` схеми, представленої на рис.1.1 (показано пунктиром). Таке виконання дає можливість підвищити коефіцієнт потужності приводу. Однак при цьому підвищується встановлена потужність ключів і дроселя, що є істотним недоліком такої схеми. Крім того, в ній відсутні пристрої захисту від комутаційних перенапруг, що мають місце при замиканні ключа [5].

Також існує досить велика кількість інших схемних рішень і модифікацій АВК, спрямованих на поліпшення енергетичних показників електроприводу. Одним із схемних рішень АВК є використання імпульсного способу регулювання швидкості, реалізованого схемою, представленою на рис 1.2 [5]. Він полягає в тому, що в роторне коло постійного струму паралельно перетворювальному пристрою (інвертору) П вводиться схема штучного замикання силового тиристора S. Така схема дозволяє зміною відносної тривалості включення силового тиристора регулювати швидкість обертання двигуна.

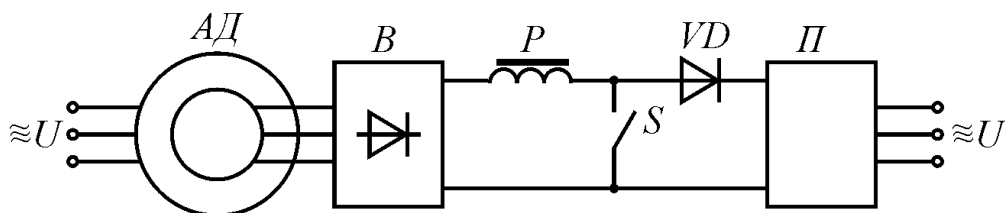


Рисунок 1.2 – Структурна схема включення АВК з імпульсним регулюванням

Застосування імпульсного регулювання дозволяє знизити габаритну потужність перетворювальних пристроїв, що особливо доцільно в електроприводах з вентиляторним навантаженням. При цьому, потужність перетворювача при будь-якому діапазоні регулювання буде незначною. Слід зазначити, що перетворювач може використовуватися для поліпшення коефіцієнта потужності і бути спільним для кількох каскадів. До недоліків даного способу відноситься поява перенапруги в роторі АД викликаної частою комутацією силового ключа S.

Практичне використання отримала АВК за схемою машини подвійного живлення з залежним керуванням або самокеруванням, представлена на рис. 1.3. [6]. Основними елементами є мережевий (МП) і роторний (РП) перетворювачі, в яких застосовуються керовані вентиля. Для досягнення найкращого використання АД і РП у всьому діапазоні швидкості АД необхідно забезпечити найбільший фазовий кут зсуву першої гармоніки струму ротора. Для цього АВК із залежним керуванням повинен працювати поблизу точки "перекидання" при роботі РП в інверторному режимі і поблизу межі можливого "перекидання" при роботі РП в випрямному режимі. Тоді при заданих перших гармоніках векторів потокозчеплення і струму ротора АД можливо отримати найбільше середнє значення моменту, що розвивається двигуном, найменші його коливання і мінімальний вплив схеми АВК із залежним управлінням на живильну мережу [6].

Основними перевагами цього способу керування є практична постійність амплітуди керуючого сигналу у всьому робочому діапазоні зміни швидкості АД, крім того, зміст вищих гармонік в цьому сигналі найменший, форма його близька до синусоїди.

Існує ще один варіант електроприводу за схемою АВК з параметричним стабілізатором, яка представлена на рис. 1.4 [7]. Відмінною особливістю від класичної схеми АВК полягає у тому, що в наслідок подачі напруги на обмотку статора АД 1 на вхід параметричного стабілізатора змінного струму та на вихід інвертора відомого мережею 6 в коло постійного струму через випрямлячі 3, 4 та інвертор 6 протікає стабілізований струм. При цьому ротор АД замкнено накоротко, а сам АД обертається зі швидкістю, близької до швидкості холостого ходу.

Випрямлена напруга параметричного стабілізатора 5 на виході випрямляча 4, що врівноважується проти-ЕРС на вході відомого мережею інвертора 6. При цьому енергія, що споживається стабілізатором струму 5, через інвертор 6 повертається у мережу.

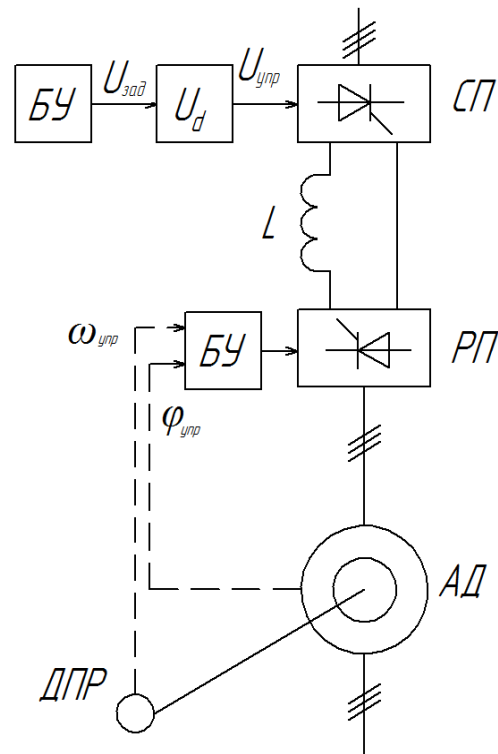


Рисунок 1.3 – Схема АВК із залежним керуванням

Існує ще один варіант електроприводу за схемою АВК з параметричним стабілізатором, яка представлена на рис. 1.4. Відмінною особливістю від класичної схеми АВК полягає у тому, що в наслідок подачі напруги на обмотку статора АД 1 на вхід параметричного стабілізатора змінного струму та на вихід інвертора відомого мережею 6 в коло постійного струму через випрямлячі 3, 4 та інвертор 6 протікає стабілізований струм. При цьому ротор АД замкнено накоротко, а сам АД обертається зі швидкістю, близької до швидкості холостого ходу.

Випрямлена напруга параметричного стабілізатора 5 на виході випрямляча 4, що врівноважується проти-ЕРС на вході відомого мережею інвертора 6. При цьому енергія, що споживається стабілізатором струму 5, через інвертор 6 повертається у мережу.

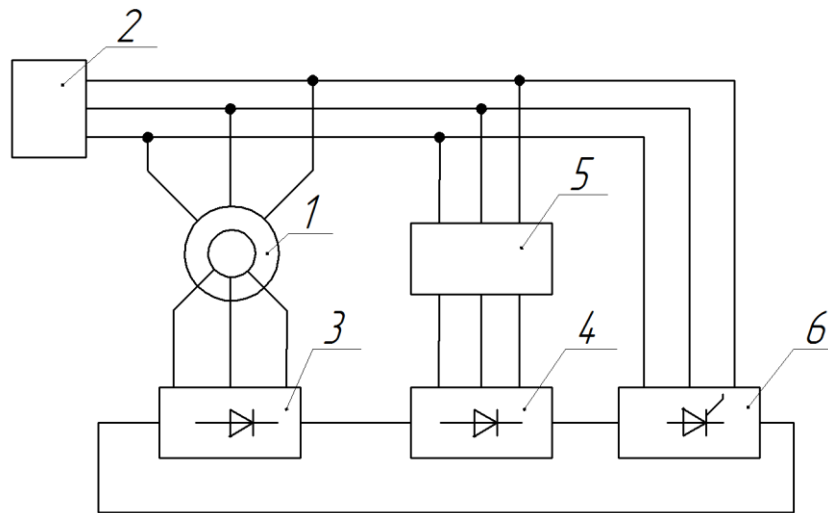


Рисунок 1.4 – Схема АВК з параметричним стабілізатором

При збільшенні моменту навантаження збільшуються ковзання ротора та збільшуються її ЕРС. Це призводить до зростання струму в роторній обмотці АД. Починаючи з величини ковзання ротора, при якій діюче значення струму в роторній обмотці стає рівним діючому значенню струму на виході параметричного стабілізатора змінного струму 5, струм в роторній обмотці стабілізуються, а АД переходить в режим джерела стабілізованого моменту [8].

Основною перевагою електроприводу, що пропонується, є також можливість отримання практично близького до одиниці коефіцієнту потужності ($\cos \varphi$). У всьому заданому діапазоні зміни рівня стабільного моменту при будь-яких значеннях величини ковзання ротору величина ЕРС інвертора залишається незмінною. Це відповідає режиму роботи інвертора з фіксованим кутом керування вентилями інвертора 6. При цьому інвертор споживає постійну по значенню реактивну потужність. При незмінній напрузі статора АД струм намагнічування АД, та реактивна потужність, яка споживається ним не змінюється. Таким чином при стабілізації моменту АД зміна ковзання ротора в широкому діапазоні не призводить до зміни сумарної споживної реактивної потужності АД та інвертора. Параметричний стабілізатор на основі ІЄП, при зміні активного навантаження на його виході, а саме такою і являється послідовно з'єднані мостовий випрямляч 3 роторної обмотки та інвертор 6, генерує у мережу, або споживає з неї постійну за

величиною реактивну потужність. За рахунок цього можна збільшити коефіцієнт потужності приводу [7].

Недоліком даного електроприводу зі струмопараметричним перетворювачем є наявність великої встановленої потужності реактивних елементів, яка в 2-2,5 рази перевищує встановлену потужність самого АД. Крім того відсутня можливість автоматично та наявно змінювати параметри ємності перетворювача, що на дає можливості бути універсальним змінах навантажені електропривода.

Наступним різновидом схеми електроприводу для АД з фазним ротором є система АВК з послідовним збудженням (рис. 1.5) [8]. Основними елементами схеми є: інвертор, що живить обмотку статора; нерегульований випрямляч, включений в коло обмотки ротора; додатковий живлячий регульований випрямляч, підключений до мережі через реактори (трансформатор) і згладжуючий реактор (дросель). Всі вентильні перетворювачі з'єднані послідовно й утворюють загальне коло випрямленого струму ротора АД. Відмінною особливістю схеми є живлення обмотки статора через випрямлене коло ротора АД. Як зазначалося вище, традиційні системи АВК регулюються зміною введеної в коло ротора додаткової проти ЕРС.

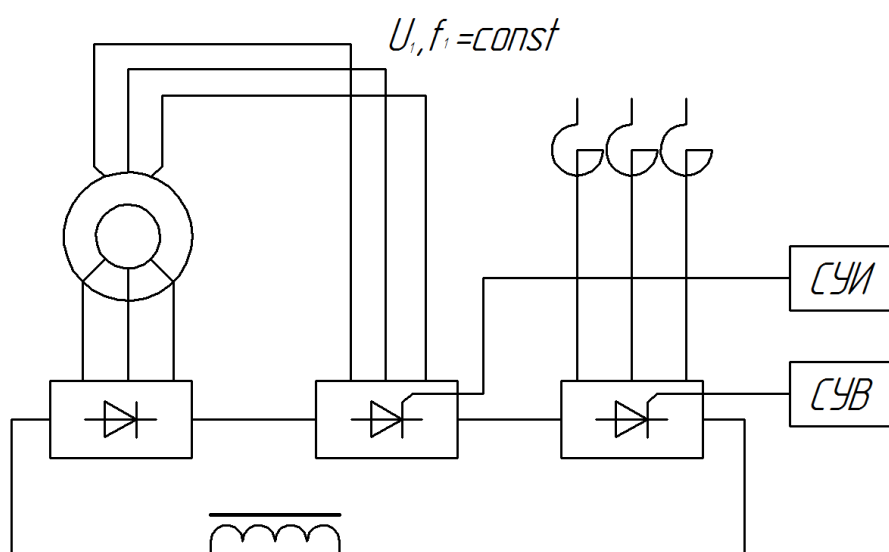


Рисунок 1.5 – Схема АВК з послідовним збудженням

Керування АВК з послідовним збудженням здійснюється шляхом регулювання напруги на виході живлячого випрямляча.

При цьому процес керування аналогічний процесу керування електроприводом постійного струму, оскільки швидкість електроприводу пропорційна напрузі на виході живильного випрямляча. Основною перевагою даної системи електроприводу в порівнянні з традиційними системами АВК є простота схемного рішення, отримання простого керованого джерела моменту.

Розглянемо варіант схеми АВК, що забезпечує глибоке регулювання швидкості як вниз, так і вгору від номінальної без датчика швидкості на валу АД із забезпеченням великих пускових моментів і високою перевантажувальною здатністю. Його структурна схема представлена на рис. 1.6. [8]

Відмінною особливістю даного АВК є використання автономного інвертора замість інвертора відомого мережею. Інвертор (АІ) виконаний по мостовій схемі автономного інвертора напруги і керується за допомогою релейних регуляторів фазних струмів статора, підтримуючи в обмотці статора трифазний струм із заданою частотою і амплітудою. Випрямлений струм роторного кола також регулюється струмом завдання за допомогою релейного регулятора (РР). Завдання на частоту струму ротора підтримується постійним на рівні 5-10 Гц, щоб випрямлена ЕРС в роторному колі була достатньо для забезпечення протікання заданого випрямленого струму ротора на всіх швидкостях обертання ротора АД. В електроприводі здійснюється підтримка кута α на рівні 45 градусів, що відповідає мінімізації струму статора, тобто має місце мінімум активних втрат в обмотці статора. В області малих навантажень струм статора обмежується на рівні 20% для того, щоб в режимах холостого ходу не відбувалося повного розмагнічування двигуна. Дана схема дозволяє здійснювати регулювання магнітного потоку асинхронного двигуна у функції навантаження на валу шляхом підтримання оптимального кута між вектором струму статора і струму намагнічування на рівні 45 градусів. Це значно підвищує ККД електроприводу при навантаженні на валу нижче номінальної. Завдяки підтримці постійної частоти струму ротора запропонований електропривод дозволяє розвивати

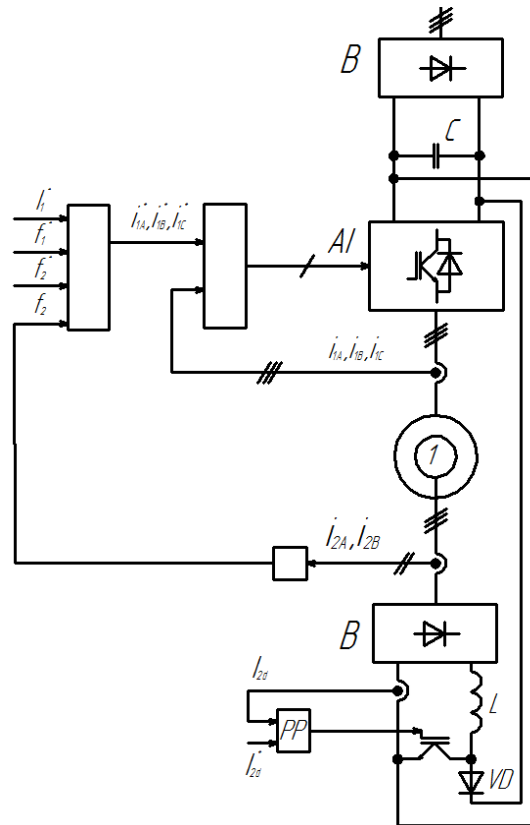


Рисунок 1.6 – Функціональна схема АВК з ПЧ

необхідний електромагнітний момент у всьому діапазоні частот обертання ротора.

Недоліком цієї схеми є ускладнення реалізації схеми перетворювача. Крім того, встановлена потужність допоміжного перетворювача складає 10-20% потужності двигуна.

1.2 Особливості застосування жорсткого механічної ланки

Жорсткий зв'язок це елемент, який використовується для моделювання абсолютно твердих елементів в пружних конструкціях (завдання твердого тіла всередині конструкції). Внаслідок жорсткості зв'язку, всі її вузли будуть мати однаковий поворот і зміщення. Основні відомості про визначення жорстких зв'язків в конструкції: вони вимагають визначення додаткових вузлів; вони діють

між вузлами; вони можуть бути приєднані до будь-яких типів кінцевих елементів (стрижневі елементи або елементи оболонок). Жорсткий зв'язок може використовуватися тільки в конструкціях з використанням обертальних ступеня свободи. Завдання жорсткого зв'язку між вузлами еквівалентно введенню умови жорсткої відповідності будь-яких переміщень цих вузлів. Всі вузли, пов'язані з майстер-вузлом складають групу, яку можна порівняти з твердим тілом [3].

У механіці, ступеня свободи - це сукупність незалежних координат переміщення або обертання, повністю визначає положення системи або тіла (а разом з їх похідними за часом - відповідними швидкостями - повністю визначає стан механічної системи або тіла - тобто їх положення і рух). Це фундаментальне поняття застосовується в теоретичній механіці, теорії механізмів і машин, машинобудуванні, авіації та інших областях [3].

На відміну від звичайних декартових або якогось іншого типу координат, такі координати в загальному випадку називаються узагальненими координатами. По суті мова йде про мінімальному наборі чисел, який повністю визначає поточний стан (конфігурацію) даної системи.

Вимога мінімальності цього набору або незалежності координат означає, що мається на увазі набір координат, необхідний для опису положення системи лише при можливих рухах [3].

Механічна частина електропривода включає в себе: ротори електродвигунів, робочий орган машини і систему механічних передач та трансмісій. Якщо всі елементи механічної частини у всіх рухах мають рівну або пропорційну швидкість, то така механічна система може розглядатися як жорстка. В цьому випадку, користуючись формулами приведення параметрів до валів двигуна, можна розглядати систему як жорстка механічна ланка з сумарним наведеним моментом інерції і для аналізу її динамічних характеристик користуватися рівнянням руху електроприводу.

Таку механічну систему називають одно масовою.

В операторній формі рівняння має вид:

Об'єктом регулювання виступає механічне ланка електроприводу, що характеризується наведеними моментом інерції, регульованим (вихідним) параметром є швидкість жорсткого механічного ланки, що регулює впливом - момент двигуна, що підбурює впливом - статичний момент.

Передаточна функція жорсткого механічного ланки знаходиться за рівнянням [3]:

У багатьох випадках кінематична схема робочої машини містить пружні елементи: довгі вали, торсіони, пружні муфти, канатні передачі та ін. В реальних схемах іноді доводиться враховувати люфти і зазори в зубчастих передачах і з'єднаннях. У цих випадках кінематичну схему можна розглядати як жорстку одно масову систему. Особливо це стосується високоточних електроприводів і електроприводів, що працюють в інтенсивних динамічних режимах.

Механічні системи, в яких присутні явно виражених пружних ланки, зазвичай призводять до двох масовим або трьох масовим механічним системам. Розглянемо двох масову електромеханічну схему (рис.1.7). У нерозгалуженій кінематичній схемі зазвичай виділяють ротори двигунів і жорстко пов'язані з нього елементи кінематичного кола. Наводячи моменти інерції цих ланок до швидкості валу двигуна, отримаємо першу масу J_1 . Ця маса пов'язана за допомогою пружного елемента, що має жорсткість C , з другою масою J_2 , яку утворюють моменти інерції робочого органу і жорстко пов'язаних з ним інших елементів кінематичного кола [3].

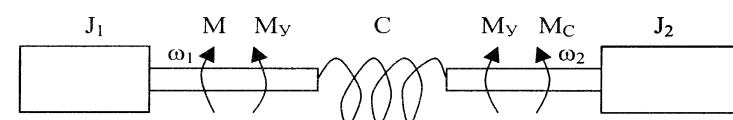


Рисунок 1.7 – Двомасова кінетична схема з пружним зв'язком

Для складання розрахункової механічної схеми всі моменти інерції ланок, додані до них моменти опору руху, пружність елементів і величини зазорів повинні бути приведені до швидкості валу двигуна.

2 КОМПЛЕКСНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДВОДВИГУНЕВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

2.1. Структурна схема розробки комплексної імітаційної моделі

Для проведення дослідження електромагнітних процесів у системі перетворювача для дводвигунного електроприводу [9-10] розроблена структура імітаційної моделі комплексного дослідження асинхронного дводвигунного електроприводу на основі електромагнітних моделей АД з формуванням каналу керування в колі випрямленого струму ротора (рис. 2.1) .



Рисунок 2.1 – Структура імітаційної моделі асинхронного дводвигунного електроприводу

Імітаційна модель асинхронного дводвигунного електроприводу, представлена у вигляді підсистем моделей електромеханічних перетворювачів на

базі кранових асинхронних двигуна з фазними роторами, підсистеми моделі каналу регулювання в колі випрямленого струму ротора, підсистеми моделей випрямляча та інвертора, підмоделі системи регулювання перетворювачем та підмоделі жорсткої двохмасової системи пружних зав'язків валів роторів АД.

2.2. Математична модель асинхронного двигуна з фазним ротором

Для дослідження застосовуються кранові АД з фазними роторами, технічні дані і параметри схеми заміщення, яких наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні дані електродвигуна МТФ 112-6

Тип двигуна	МТФ 112-6
Клас ізоляції	F
Номінальна потужність, кВт	5
Номінальна частота обертання валу, об / хв	940
ККД, %	80
Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,73
Ставлення пускового моменту до номінального	2,2
Ковзання, %	6,0
Номінальна напруга ротора, В	176
Номінальна напруга статора, В	380
Номінальний струм статора, А	12,5
Номінальний струм ротора, А	15,5 А

Використання в електроприводах для кранового обладнання, які мають відкриті пази і підвищений активний опір обмотки ротора, дозволяє знехтувати зміною параметрів двигуна і прийняти їх постійними. Тому в даній роботі електромагнітна модель АД описується з урахуванням загальноприйнятих допущень [11]:

- повітряний зазор гладкий, без пазів на статорі і роторі, з обмотками у вигляді струмових шарів, що мають синусоїдальний розподіл М.Р.С.;
- АД має кругове магнітне поле в повітряному зазорі;
- напруга живильної мережі має синусоїдальну форму.

Математична модель, що описується диференційними рівняннями в двофазній системі координат d, q з синхронною швидкістю обертання магнітного поля статора. Математична модель враховує насичення магнітної системи за методом динамічної індуктивності на підставі досліджень Фільца Р. В. [12-13]. Схема заміщення АД з урахуванням насичення по Фільцу Р. В наведена на рис.2.2.

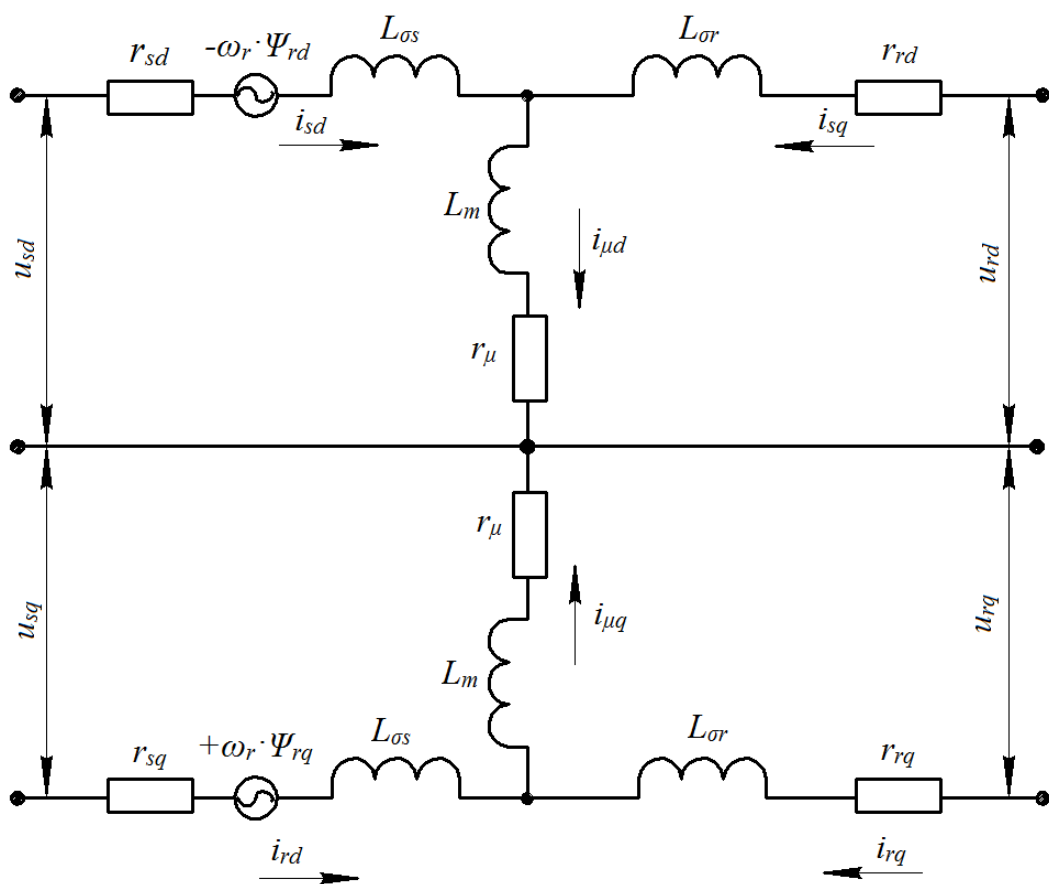


Рисунок 2.2 – Схема заміщення АД з урахуванням насичення

За припущенням Фільца Р.В. модуль вектора потокозчеплення в повітряному зазорі ψ_δ залежить тільки від величини результуючої М.Р.С., або від пропорційного їй модуля вектора струму намагнічування i_μ , при виході на

нелінійну ділянку кривої намагнічування приріст струму намагнічування Δi_μ по одній осі системи координат, це призводить до відповідного прирощення потокозчеплення $\Delta \psi_\delta$ по всім осям системи. Як наслідок, виникає потреба введення до системи динамічних індуктивностей по осям системи та елементів зі взаємною індуктивністю між осями, що залежать від приросту модулів векторів потокозчеплення $\Delta \psi_\delta$ та струму намагнічування Δi_μ , значень самих модулів векторів ψ_δ та i_μ , кута, що визначається взаємним розташуванням проекцій узагальненого вектора намагнічуючого струму на відповідній осі.

Система рівнянь, що визначає контури статора і ротора АД, згідно схеми заміщення (рис. 3.2) має вигляд [12-13]:

$$u_{sd} = i_{sd} \cdot r_{sd} + \left(L_{\sigma s} + L_d^\delta \right) \frac{di_{sd}}{dt} + M^\delta \frac{di_{sq}}{dt} + L_d^\delta \frac{di_{rd}}{dt} + M^\delta \frac{di_{rq}}{dt} - \omega_r \cdot \psi_{rq} + i_{\mu d} \cdot r_\mu, \quad (2.1)$$

$$u_{sq} = i_{sq} \cdot r_{sq} + \left(L_{\sigma s} + L_q^\delta \right) \frac{di_{sq}}{dt} + M^\delta \frac{di_{sd}}{dt} + L_q^\delta \frac{di_{rq}}{dt} + M^\delta \frac{di_{rd}}{dt} - \omega_r \cdot \psi_{rd} + i_{\mu q} \cdot r_\mu, \quad (2.2)$$

$$u_{rd} = i_{rd} \cdot r_{rd} + L_d^\delta \frac{di_{sd}}{dt} + M^\delta \frac{di_{sq}}{dt} + \left(L_{\sigma r} + L_d^\delta \right) \frac{di_{rd}}{dt} + M^\delta \frac{di_{rq}}{dt}, \quad (2.3)$$

$$u_{rq} = i_{rq} \cdot r_{rq} + L_q^\delta \frac{di_{sq}}{dt} + M^\delta \frac{di_{sd}}{dt} + \left(L_{\sigma r} + L_q^\delta \right) \frac{di_{rq}}{dt} + M^\delta \frac{di_{rd}}{dt}, \quad (2.4)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{d^2\Theta}{dt^2} = \frac{p}{J} \cdot \left[\frac{3}{2} p \cdot \left[\psi_{sq} \cdot i_{sd} - \psi_{sd} \cdot i_{sq} \right] - M_c \right], \quad (2.5)$$

$$L_d^\delta = \frac{\partial \psi_{rd}}{\partial i_{rd}} - L_{\sigma r}, \quad L_d^\delta = \frac{\partial \psi_{sd}}{\partial i_{rd}}, \quad L_d^\delta = \frac{\partial \psi_{rd}}{\partial i_{sd}}, \quad (2.6)$$

$$L_q^\delta = \frac{\partial \psi_{sq}}{\partial i_{sq}} - L_{\sigma s}, \quad L_q^\delta = \frac{\partial \psi_{sq}}{\partial i_{rq}}, \quad L_q^\delta = \frac{\partial \psi_{rq}}{\partial i_{sq}}, \quad (2.7)$$

$$M^\delta = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d\psi_\delta}{dt} - \frac{\psi_\delta}{i_\mu} \right) \cdot \sin 2\eta_\mu, \quad (2.8)$$

$$\eta_\mu = \arctg \left(\frac{i_{\mu d}}{i_{\mu q}} \right), \quad (2.9)$$

$$i_{\mu d} = i_{sd} + i_{rd} = i_\mu \cdot \frac{\psi_{\delta d}}{\psi_\delta}, \quad (2.10)$$

$$i_{\mu q} = i_{sq} + i_{rq} = i_\mu \cdot \frac{\psi_{\delta q}}{\psi_\delta}, \quad (2.11)$$

$$i_\mu = \sqrt{i_{\mu d}^2 + i_{\mu q}^2} = \sqrt{(i_{sd} + i_{rd})^2 + (i_{sq} + i_{rq})^2}, \quad (2.12)$$

$$\psi_\delta = \sqrt{\psi_{\delta d}^2 + \psi_{\delta q}^2}, \quad (2.13)$$

де u_{sd}, u_{sq} , - проєкції на відповідні осі системи координат (d, q) вектора статорної напруги АД;

u_{rd}, u_{rq} - проекції на відповідні осі системи координат (d, q) вектора роторної напруги АД;

i_{sd}, i_{sq} - проекції на відповідні осі системи координат (d, q) вектора струму статора АД;

i_{rd}, i_{rq} - проекції на відповідні осі системи координат (d, q) вектора струму ротора АД;

$r_{sd}, r_{sq}, r_{rd}, r_{rq}$ - активний опір обмоток відповідно статора і ротора АД по осях (d, q) ;

r_{μ} - узагальнений опір, який характеризує втрати в сталі АД;

$L_{\sigma s}, L_{\sigma r}$ - власні індуктивності обмоток відповідно статора і ротора АД;

$i_{\mu d}, i_{\mu q}$ - проекції узагальненого вектора струму намагнічування i_{μ} на осі системи координат (d, q) ;

ψ_{δ} - модуль просторового вектора робочого потокозчеплення;

$\psi_{\delta d}, \psi_{\delta q}$ - проекції просторового вектору потокозчеплення в повітряному зазорі АД;

$\psi_{sd}, \psi_{sq}, \psi_{rd}, \psi_{rq}$ - проекції узагальненого вектору потокозчеплення на осі системи координат (d, q) відповідно для обмоток статора та ротора АД, для яких мають місце співвідношення [12-13]:

$$\psi_{sd} = \psi_{\sigma sd} + \psi_{\delta d}, \quad (2.14)$$

$$\psi_{sq} = \psi_{\sigma sq} + \psi_{\delta q}, \quad (2.15)$$

$$\psi_{rd} = \psi_{\sigma rd} + \psi_{\delta d}, \quad (2.16)$$

$$\psi_{rq} = \psi_{\sigma rq} + \psi_{\delta q}; \quad (2.17)$$

де M_c - момент опору АД;

p - число пар полюсів АД;

ω_r - частота обертання ротора АД;

Θ - кут між осями (d, q) .

Проекції узагальнених векторів потокозчеплення розсіювання відповідно статора та ротора на осі системи координат (d, q) , $\psi_{\sigma s, r}(d, q)$ пов'язані відповідно до дії сталих індуктивностей розсіювання обмоток статора $L_{\sigma s}$ та ротора $L_{\sigma r}$ [12-13]:

$$\psi_{\sigma s d} = L_{\sigma s} \cdot i_{\sigma s d}, \quad (2.18)$$

$$\psi_{\sigma s q} = L_{\sigma s} \cdot i_{\sigma s q}, \quad (2.19)$$

$$\psi_{\sigma r d} = L_{\sigma r} \cdot i_{\sigma r d}, \quad (2.20)$$

$$\psi_{\sigma r q} = L_{\sigma r} \cdot i_{\sigma r q}. \quad (2.21)$$

Для перетворення трифазних струмів і напруги статора і ротора АД в двофазні і навпаки використовуються матриці перетворення Парка - Гурвіца ($\Theta = 0, q = \Theta - \Theta_r$) [10]:

$$\begin{bmatrix} u_{ds} \\ u_{qs} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 \cdot \cos \Theta & \cos \Theta_r + \sqrt{3} \cdot \sin \Theta \\ 2 \cdot \sin \Theta & \sin \Theta_r - \sqrt{3} \cdot \cos \Theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{abs} \\ u_{bcs} \end{bmatrix}, \quad (2.22)$$

$$\begin{bmatrix} u_{dr} \\ u_{qr} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 \cdot \cos \beta & \cos \beta + \sqrt{3} \cdot \sin \beta \\ 2 \cdot \sin \beta & \sin \beta - \sqrt{3} \cdot \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{abr} \\ u_{bcr} \end{bmatrix}, \quad (2.23)$$

$$\begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta \\ -\cos\Theta + \sqrt{3} \cdot \sin\Theta & -\sqrt{3} \cdot \cos\Theta - \sin\Theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix}, \quad (2.24)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{i}_{ar} \\ \hat{i}_{br} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} \cos\beta & \sin\beta \\ -\cos\beta + \sqrt{3} \cdot \sin\beta & -\sqrt{3} \cdot \cos\beta - \sin\beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{i}_{\alpha r} \\ \hat{i}_{\beta r} \end{bmatrix}, \quad (2.25)$$

$$i_{cs} = -i_{as} - i_{bs}, \quad (2.26)$$

$$\hat{i}_{cr} = -\hat{i}_{ar} - \hat{i}_{br}. \quad (2.27)$$

Математична модель (2.1 -2.5) за допомогою функцій напруги $u_{dr}^{\wedge}(t)$ і $u_{qr}^{\wedge}(t)$ описує електромагнітні процеси в АД, викликані впливом через канал ротора комутацією силових ключів перетворювача.

Розроблений блок математичної моделі АД було реалізовано у системі програмного засобу MatLAB у середовищі Simulink [14].

На рис. 2.3 зображено структурні блоки математичної моделі (електромагнітний та механічний) асинхронного двигуна у дво-фазній системі координат, використовуючи рівняння (2.1)-(2.27).

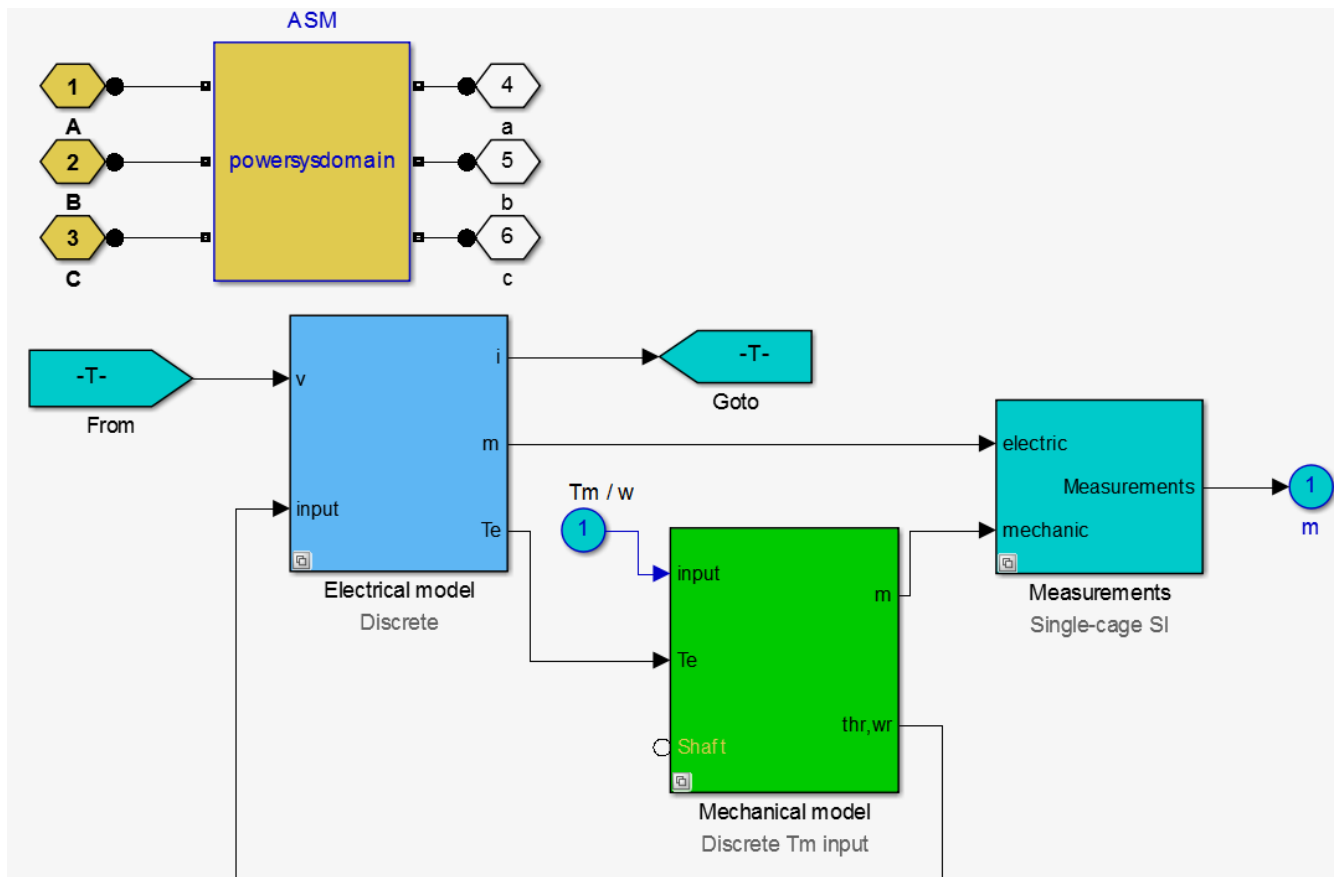


Рисунок 2.3 - Структурний блок математичної моделі асинхронного двигуна

2.3. Математична модель перетворювача

Підсистема моделі кола випрямленого струму ротора електроприводу включає в себе: блок некерованого випрямляча (В), виконаного у вигляді трифазного мостового діодного мосту, згладжуючого дроселя інвертора (L_d), силового ключа (К), діоду (VD), конденсатору (С), блоку інвертора відомого мережею (І), представленого у вигляді трифазного тиристорного мосту, блоку узгоджувального трансформатора (Т) (див. рис. А.1, додаток А). Первинні обмотки трансформатора приєднані до мережі живлення з промисловою частотою $f_c = 50$ Гц необмеженої потужності [9-10].

Моделювання роботи силового ключа (К) і вентилів випрямної і інверторної груп виконано за допущенням, що їх вмикання й вимикання відбувається миттєво. Опір відкритого ключа дорівнює нулю, при закритому ключі - нескінченності. На рис. 2.4 представлена схема заміщення кола випрямленого струму ротора (блок ППН) перетворювача [9-10].

У відповідності з особливістю комутації силового ключа (К), можна виділити ряд станів схеми (етапів роботи перетворювача), кожному із яких буде відповідати певне рівняння перехідних процесів [15-16].

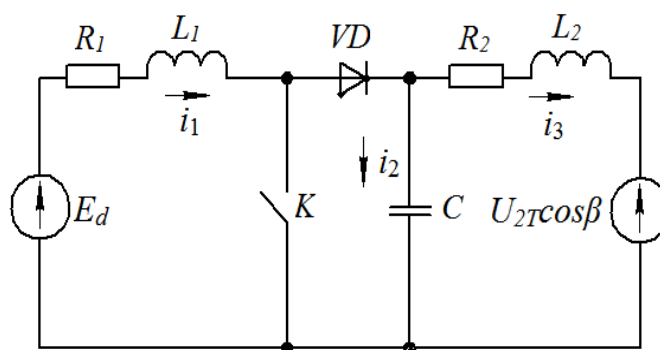


Рисунок 2.4 – Схема заміщення кола випрямленого струму ротора перетворювача

Для даної схеми заміщення визначимо параметри схеми заміщення, згідно [15-16]:

$$R_2 = r_{\partial p} + 2 \cdot r_T + \frac{3 \cdot x_T \cdot s}{\pi}, \quad (2.28)$$

$$R_1 = 2 \cdot (r_s + r_m) \cdot s + 2 \cdot r_r + \frac{3 \cdot x_{\partial} \cdot s}{\pi}, \quad (2.29)$$

$$L_1 = 2 \cdot L_{\partial}, \quad (2.30)$$

$$L_2 = L_{\partial p} + 2 \cdot L_T, \quad (2.31)$$

де $r_{\partial p}$ - активний опір дроселя інвертора;

$L_{\partial p}$ - індуктивність дроселя інвертора;

r_r - активний опір фази ротора двигуна;

r_s - активний опір фази статора, приведений до обмотки ротора;

r_m - опір магнітного контуру АД, згідно;

r_T - активний еквівалентний опір фази трансформатора;

$\frac{3 \cdot x_{\partial} \cdot s}{\pi}$ - еквівалентний опір, що викликаний комутацією вентилів випрямляча;

$\frac{3 \cdot x_{2T} \cdot s}{\pi}$ - еквівалентний опір, що викликаний комутацією вентилів інвертора;

x_T - еквівалентний індуктивний опір фази трансформатора.

Індуктивний опір розсіювання фази АД [15-16]:

$$x_{\partial} = x_s + x_r = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot (L_s + L_r), \quad (2.32)$$

де L_s – повна індуктивність фази статора, приведена до ротора;

L_r – повна індуктивність фази ротора.

Другий етап роботи перетворювача характеризується розрядом конденсатора при замкнутому ключі. Для цього моменту часу буде відповідати контур $R_1 \rightarrow L_1 \rightarrow K \rightarrow R_1$ (рис.2.4).

З другого закону Кірхгофа випливає [15-16]:

$$R_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} = E_{d0} \cdot s, \quad (2.33)$$

де

$$E_{d0} = 1,41 \cdot E_{2m}.$$

Рівняння для випрямленого струму має вигляд [15-16]:

$$i_1 = I_d \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + I_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2.34)$$

де

$$I_0 = \frac{E_{d0} \cdot s}{R_1},$$

$$T^{\wedge} = \frac{L_1}{R_1},$$

Так як обмотка ротора закорочена, то збережена енергія на конденсаторі, рекуперується в мережу через дросель і інвертор (контур $C \rightarrow R_2 \rightarrow L_2 \rightarrow C$) (рис.2.4).

Для даного контуру диференціальне рівняння має вигляд [17-18]:

$$\frac{1}{C} \int i_3(t) dt + R_2 i_3 + L_2 \frac{di_3}{dt} = U_{2T} \cos \beta \quad (2.35)$$

Для даної схеми заміщення характер перехідного процесу буде періодичним.

Рівняння напруги при розряді конденсатора має вигляд [17-18]:

$$u_c(t) = U_{2T(0)} \cos \beta + \frac{u_c(0) - U_{2T(0)} \cos \beta}{\sqrt{L_2 C \omega''_0}} e^{-\delta'' \cdot t} \sin(\omega''_0 t + \arctg \frac{\omega''_0}{\delta''}), \quad (2.36)$$

де

$$\delta'' = \frac{R_2}{2 \cdot L_2},$$

$$\omega''_0 = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot L_2 \cdot C} - \left(\frac{R_2}{2 \cdot L_2}\right)^2}.$$

При цьому повинна виконуватися умова $\omega''_0 \gg \omega_{кр}$

Струм контуру [17-18]:

$$i_3(t) = C \frac{du_c}{dt} = U_{2T(0)} \cos \beta + \frac{u_c(0) - U_{2T(0)} \cos \beta}{L_2 \omega_0} e^{-\delta \cdot t} \sin \omega_0 t \quad (2.37)$$

Розглянемо третій етап роботи перетворювача, при якому силовий ключ (K) розімкнутий. При цьому частина енергії ковзання, а саме збережена енергія в обмотці ротора, обумовлена різкою зміною випрямленого струму ротора, скидається на конденсатор (C) (контур $R_1 \rightarrow L_1 \rightarrow C \rightarrow R_1$), а інша частина енергії ковзання рекуперується в мережу електропостачання через дросель та інвертор (контур $R_1 \rightarrow L_1 \rightarrow VD \rightarrow R_2 \rightarrow L_2 \rightarrow R_1$) [17-18].

Система диференціальних рівнянь для даного стану схеми має вигляд [17-18]:

$$\left. \begin{aligned} R_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C} \int i_2 dt &= E_{d0} \cdot s \\ R_1 \cdot i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_3}{dt} + R_2 \cdot i_3 &= E_{d0} \cdot s + U_{2T} \cdot \cos \beta \\ i_1 &= i_2 + i_3 \end{aligned} \right\}, \quad (2.38)$$

Для даної схеми заміщення характер перехідного процесу буде періодичним, так як значення реактивного опору більше активного опору контуру, згідно [17-18]:

$$(R_1 + R_2) < R_{кр} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(L_1 + L_2)}{C}}. \quad (2.39)$$

Рівняння для випрямленого струму має вигляд [17-18]:

$$i_1(t) = -I_0 \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi) + I_0, \quad (2.40)$$

де

$$\delta = \frac{R_1}{2 \cdot L_1},$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot L_1 \cdot C} - \left(\frac{R_1}{2 \cdot L_1}\right)^2}.$$

Причому, для даного випадку виконується умова $\omega_0 \gg \omega_{кр}$

Напруга і струм при заряді конденсатора [17-18]:

$$u_c(t) = U_{2T(0)} \cos \beta \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 t) + U_0, \quad (2.41)$$

$$i_2(t) = C \cdot \frac{d}{dt} u_c(t) + (I_0 - I_0). \quad (2.42)$$

Струм дроселя інвертора, згідно (2.42), визначається з виразу [17-18]:

$$i_3 = i_1 - i_2 = C \cdot \frac{d}{dt} u_c(t) - I_0 \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega_0 t) + I_0. \quad (2.43)$$

Розроблено блок математичної підмоделі перетворювача було реалізовано у системі програмного засобу MatLAB у середовищі Simulink.

На рис. 2.5 та рис. 2.6 зображено структурні блоки математичної моделі за (2.28)-(2.43) перетворювача та блоку інвертора відомого мережею відповідно.

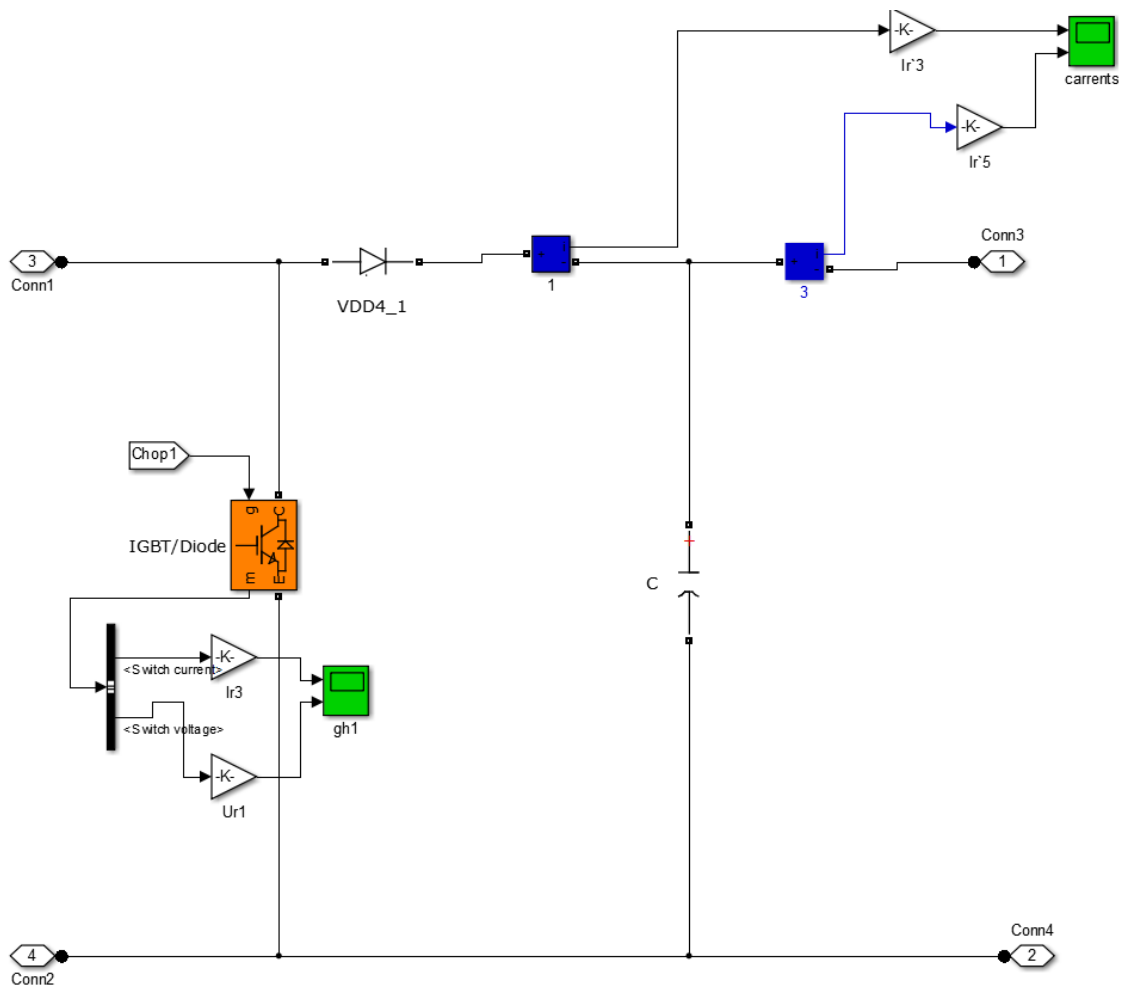


Рисунок 2.5 - Структурний блок математичної моделі перетворювача ІІІН

2.4 Модель системи керування перетворювачем

Керування двох АД в динамічному режимі роботи досягається обмеженням сумарного випрямленого струму роторів АД завдяки постійною комутацією транзистора завдяки широтно-імпульсній модуляції. Тривалість імпульсу γ задається пристроєм керування ШІР при постійній частоті комутації f_k .

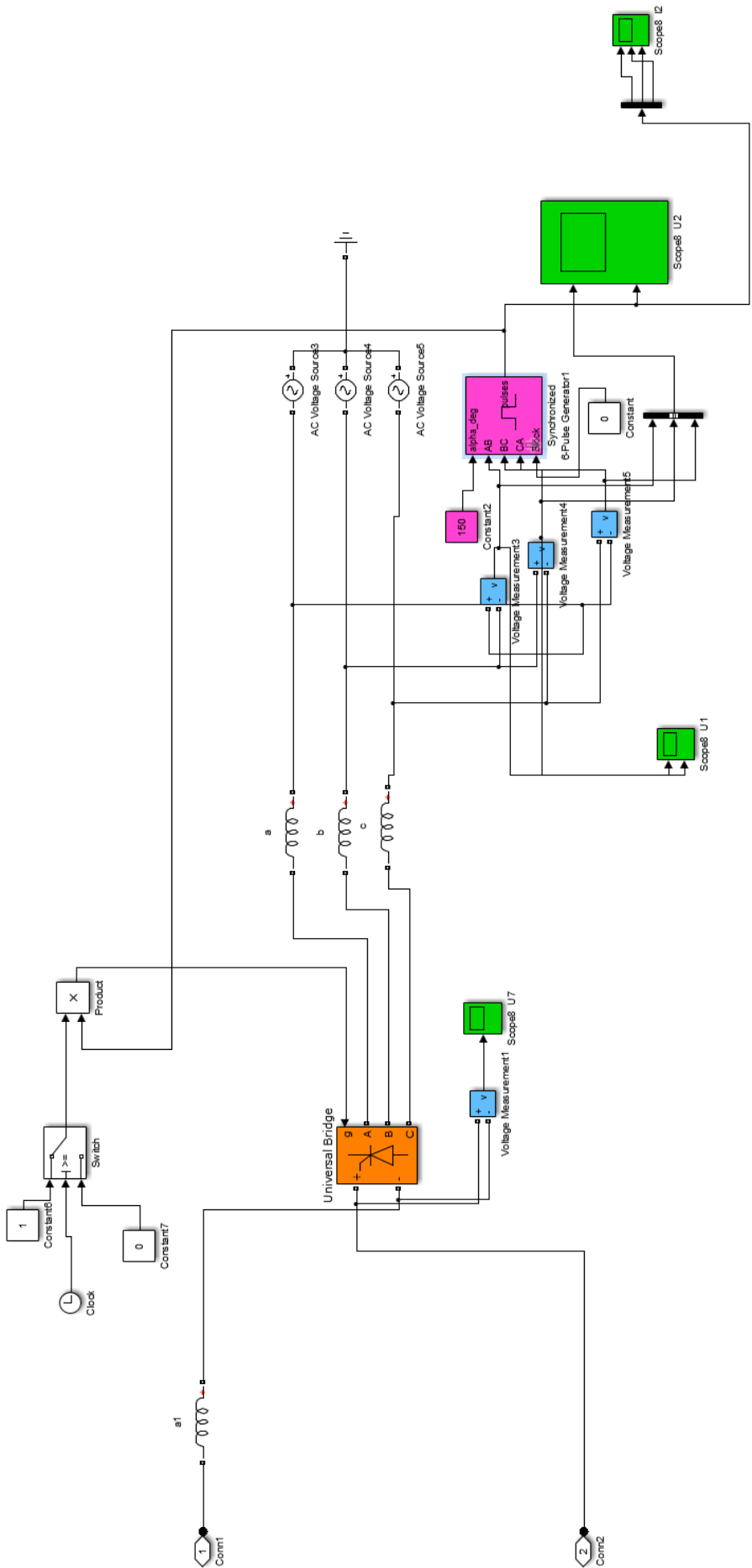


Рисунок 2.6 - Структурний блок математичної моделі інвертора відомого мережею

Також в системі керування реалізована система захисту від надмірного струму. Для цього на транзистор подається командний сигнал з обмежувача струму у вигляді прямокутних імпульсів. Вхідний сигнал обмежувача струму надходить від датчика струму. Для узгодженого обертання роторів АД в процесі їх розгону, обмежувачем струму задається прямолінійна функція у вигляді [9-10, 19]:

$$I_d(t) = A \cdot t,$$

$$I_d(t) \leq I_{d_ном},$$

де I_d - уставка по струму, А;

$I_{d_ном}$ - сумарне, номінальне значення випрямленого струму роторів АД, А;

t - час, с;

A - коефіцієнт, який характеризує швидкість зміни струму від 0 до $I_{d_ном}$

Коли струм в колі більше значення уставки по струму обмежувача, транзистор розмикається. Коли струм в колі менше значення уставки по струму обмежувача, транзистор замикається. Синхронізація Е.Р.С інвертора з Е.Р.С. трансформатора виконується за допомогою блоку системи імпульсно-фазового керування (СІФК).

На рис.2.7. наведена загальна функціональна схема триканальної синхронної СІФК. Система імпульсно-фазового керування містить: пристрій синхронізації (УС1–УС3); генератори опорних напруг (ГОН1–ГОН3); компаратори (К1–К3); блок обмеження кутів керування (БОУ); формувачі імпульсів керування силовими тиристорами (ФІ1–ФІ3); розподільник (РІ) та підсилювачі потужності (УМ) імпульсів керування.

Розроблено блок математичної підмоделі системи керування силового ключа перетворювача (рис. 2.8) та інвертором відомим мережею (рис. 2.9), які було реалізовано у системі програмного засобу MatLAB у середовищі Simulink.

На рис. 2.8 зображено структурний блок математичної моделі системи

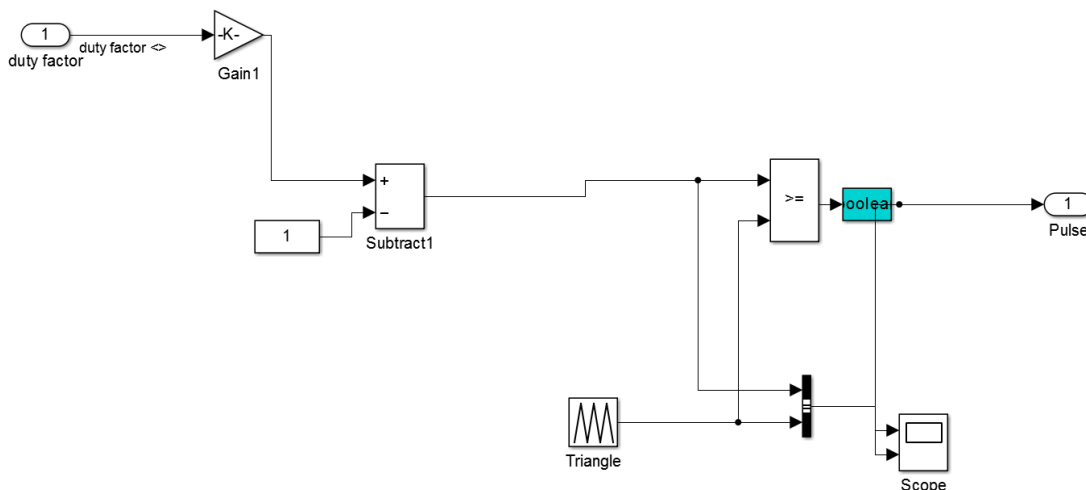


Рисунок 2.8 – Блок математичної підмоделі системи керування силового ключа перетворювача

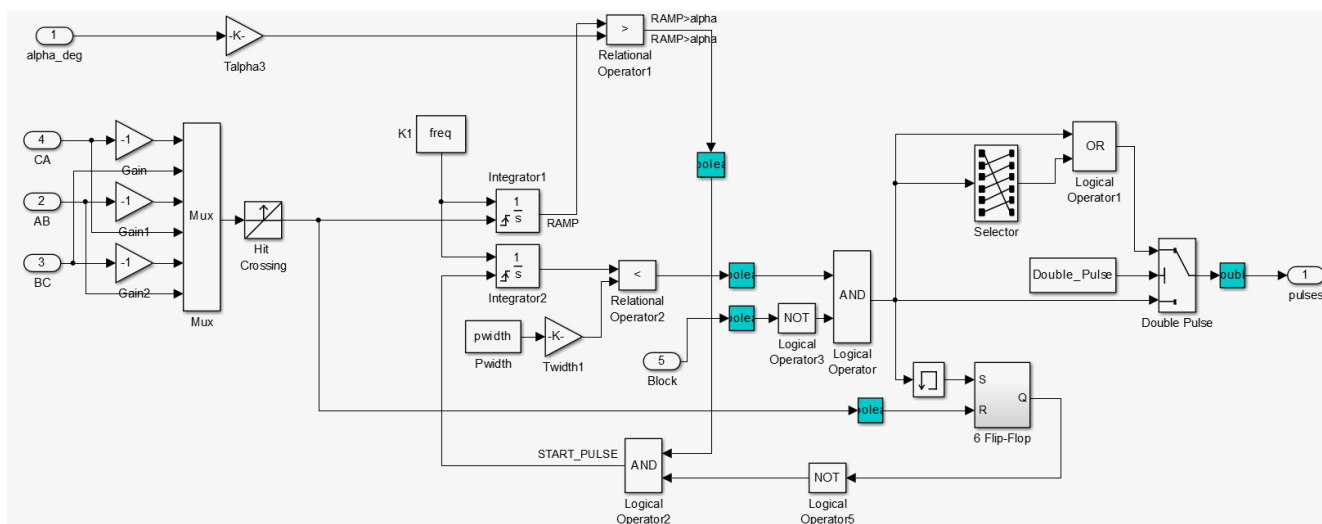


Рисунок 2.9 – Блок математичної підмоделі системи керування інвертора відомого мережею перетворювача

2.5. Математична модель механічної жорсткого зв'язку

Для жорсткого зв'язку використовується двомасова система, яка наведена на рис. 2.10.

Математична модель механічної двомасової системи жорсткого зв'язку валів роторів АД виглядає наступним чином [2]:

$$M_{12}^{\cdot} - \Delta M_1 = J_1^{\cdot} \cdot \frac{d\omega_1^{\cdot}}{dt}, \quad (2.44)$$

$$M_{12}^{\cdot\cdot} - \Delta M_2 = J_1^{\cdot\cdot} \cdot \frac{d\omega_1^{\cdot\cdot}}{dt}, \quad (2.45)$$

$$M_{12}^{\cdot} + M_{12}^{\cdot\cdot} - M_c = J_2 \cdot \frac{d\omega_2}{dt} \quad (2.46)$$

$$M_{12}^{\cdot} = k \cdot c_{12}^{\cdot} \cdot (\varphi_1^{\cdot} - \varphi_2) \quad (2.47)$$

$$M_{12}^{\cdot\cdot} = (2 - k) \cdot c_{12}^{\cdot\cdot} \cdot (\varphi_1^{\cdot\cdot} - \varphi_2) \quad (2.48)$$

де k_1 - коефіцієнт, що характеризує положення візка мостового крану;

$c_{12}^{\cdot}, c_{12}^{\cdot\cdot}$ - коефіцієнти жорсткості валопроводів;

$M_{12}^{\cdot}, M_{12}^{\cdot\cdot}$ - пружні моменти в валопроводах;

$J_1^{\cdot}, J_1^{\cdot\cdot}, J_2$ - приведені моменти інерції валопроводів (першого АД, другого АД, кран-балки);

M_c - статичний момент опору;

$\varphi_1^{\cdot}, \varphi_1^{\cdot\cdot}, \varphi_2$ - кути повороту валів двигунів та робочого органу механізму.

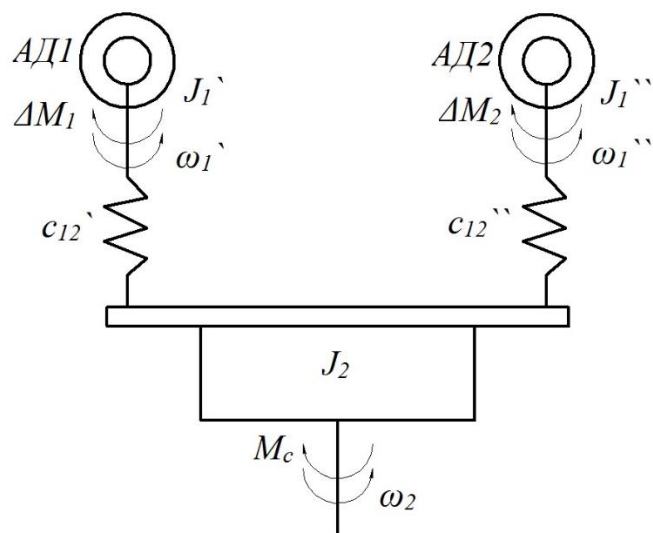


Рисунок 2.10. – Двомасова система жорсткого зв'язку валів асинхронних двигунів

Розроблено блок математичної підмоделі двомасової системи жорсткого зв'язку двох роторів АД (рис. 2.11), яка була реалізована у системі програмного засобу MatLAB у середовищі Simulink [14].

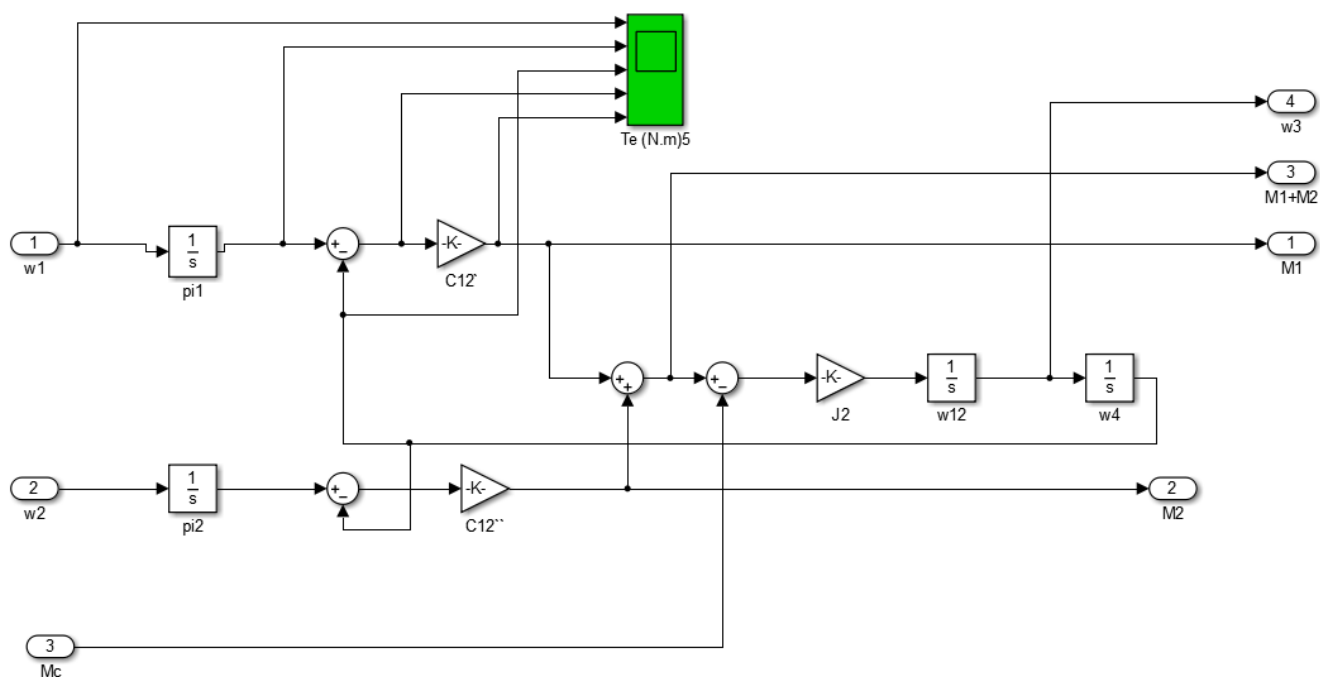


Рисунок 2.11. – Блок математичної підмоделі двомасової системи жорсткого зв'язку валів асинхронних двигунів на базі перетворювача

Розроблені блоки математичних підмоделей можуть бути зібрані у єдину імітаційну модель (рис. 2.12) для проведення дослідження електромагнітних та механічних процесів дводвигуневого електроприводу асинхронних двигунів на базі перетворювача [19].

Таким чином, розроблено математичну модель системи електроприводу частотно-струмового асинхронно-вентильного каскаду, яка дозволяє врахувати всі особливості протікання електромагнітних, енергетичних процесів як в двигунах так і у перетворювачі, розглянути механічні властивості асинхронних двигунів з урахуванням жорсткого зв'язку між їхніми роторами.

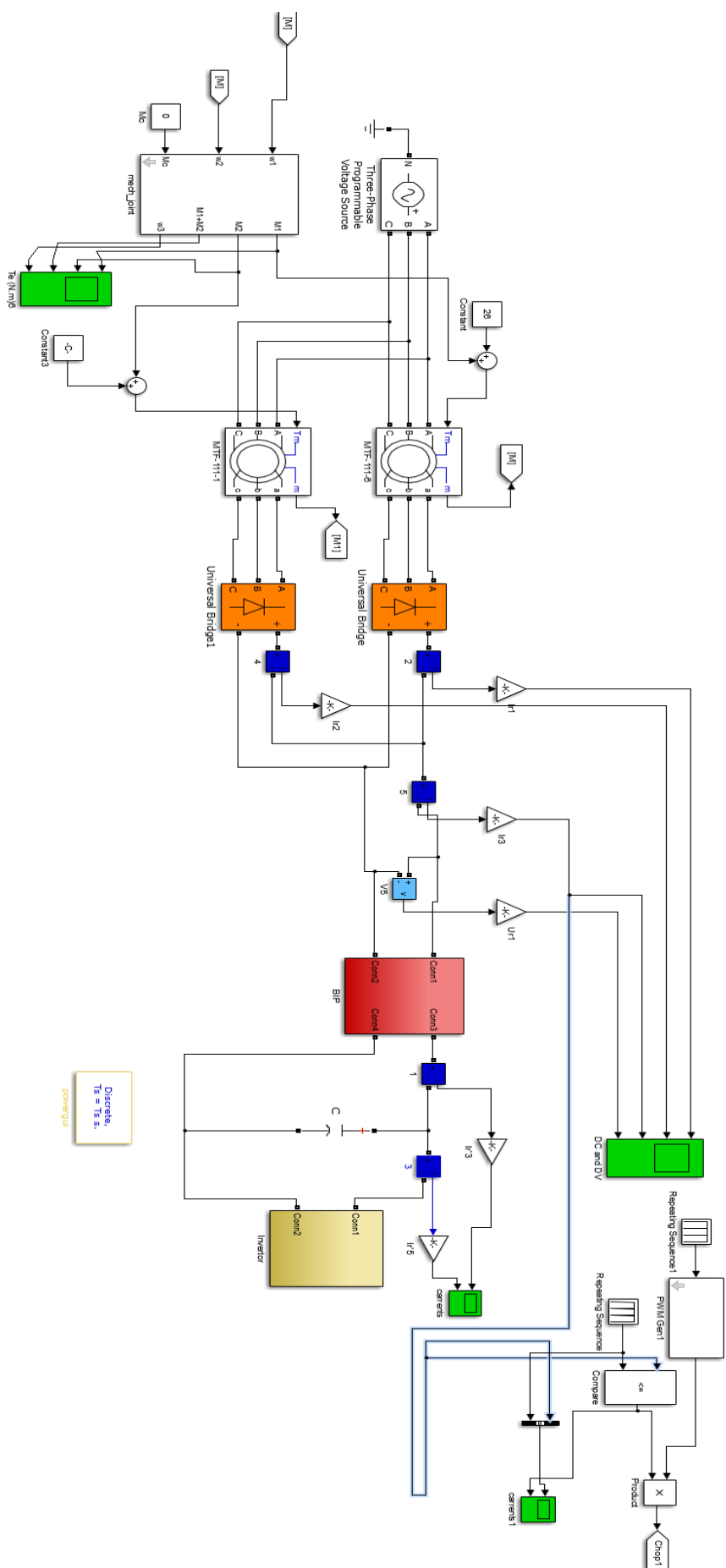


Рисунок 2.12. — Комплексна імітаційна модель асинхронного електроприводу на базі перетворювача

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДВОДВИГУНЕВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

3.1 Дослідження електромагнітних процесів в дводвигуневому електроприводі

Завдяки розробленій імітаційній комплексній моделі електромагнітної та електроmechanічної перетворення енергії у системі дводвигуневому електроприводу електроприводі отримані результати моделювання електромагнітних параметрів.

На рис. 3.1. – рис. 3.3 наведені осцилограми випрямленого струму першого та другого двигуна, типу МТФ-111-6, та сумарний випрямлений струм їх роторів в процесі розгону в системі дводвигуневого електроприводу. Процес пуску та розгону виконувався при однаковому моменту опору на два двигуна зі значенням $M_c=45 \text{ Н}\cdot\text{м}$, з початковим значення коефіцієнту заповнення імпульсу $\gamma=0.1$, та при часі від 0,05с до 0,2 с значення коефіцієнту заповнення імпульсу змінювалось від $\gamma=0.1\div 1$. Частота комутації силового ключа становила $f=1500\text{Гц}$. Таким чином завдяки застосування ШИР регулювання отримано плавне наростання швидкостей АД та плавне протікання електромагнітних процесів у випрямленому колі роторів АД [19].

На рис.3.4 – рис. 3.5 наведені осцилограми фазних струмів статора та ротора АД у процесі їх пуску та розгону. Як свідчить аналіз отриманих результатів, у процесі пуску та розгону відсутні аперіодичні складові струмів статора та ротора АД. Зростання струмів до номінальних значень триває плавно. Це виключає ривки при пуску дводвигуневого електроприводу кран-балки моста, та розкачування вантажа при його транспортуванні.

Таким чином отримані результати перехідних електромагнітних процесів свідчать про плавність та економічність ходу електроприводу. Процес розгону та

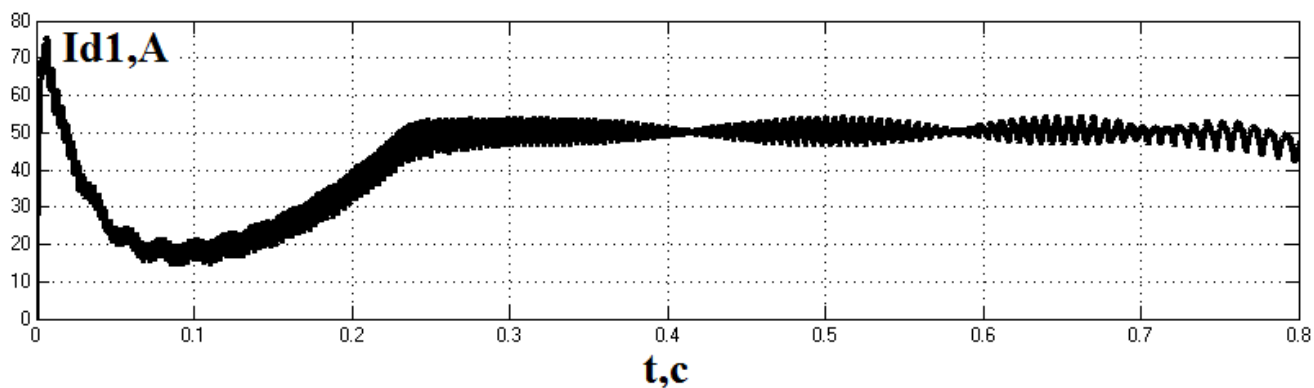


Рисунок 3.1 – Осцилограмма выпрямленного тока первого двигателя типа МТФ-112-6 в процессе разгона в системе дводвигунного электропривода.

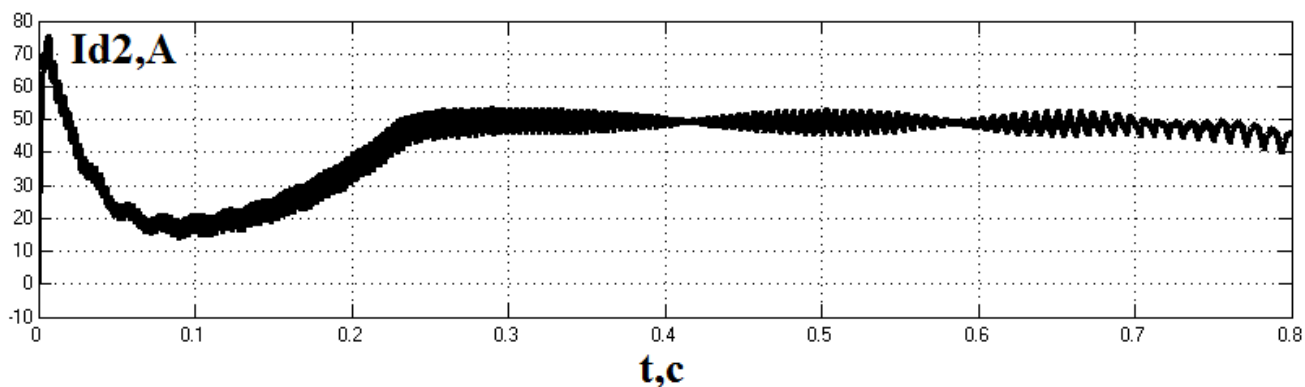


Рисунок 3.2 – Осцилограмма выпрямленного тока второго двигателя типа МТФ-112-6 в процессе разгона в системе дводвигунного электропривода.

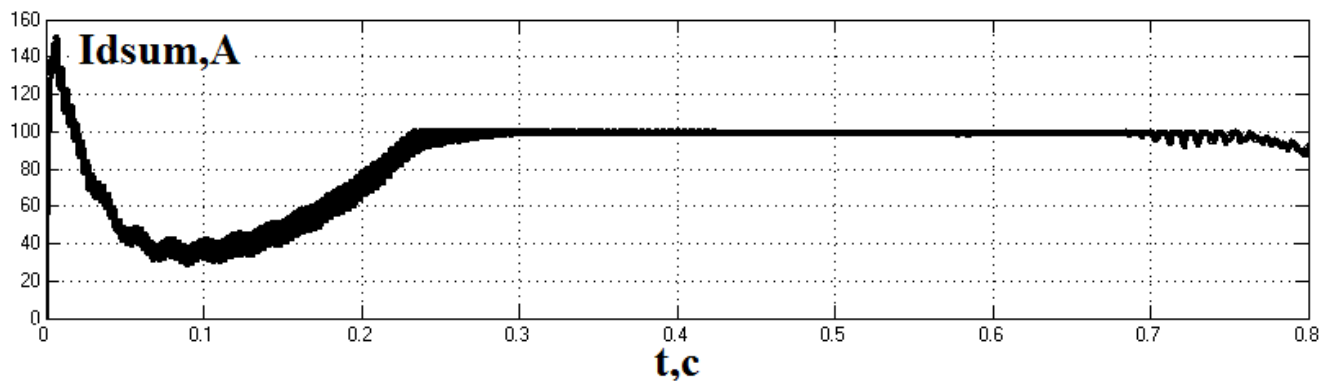


Рисунок 3.3 – Осцилограма сумарного випрямленого струму першого та другого двигуна типу MTF-112-6 в процесі розгону в системі дводвигунного електроприводу.

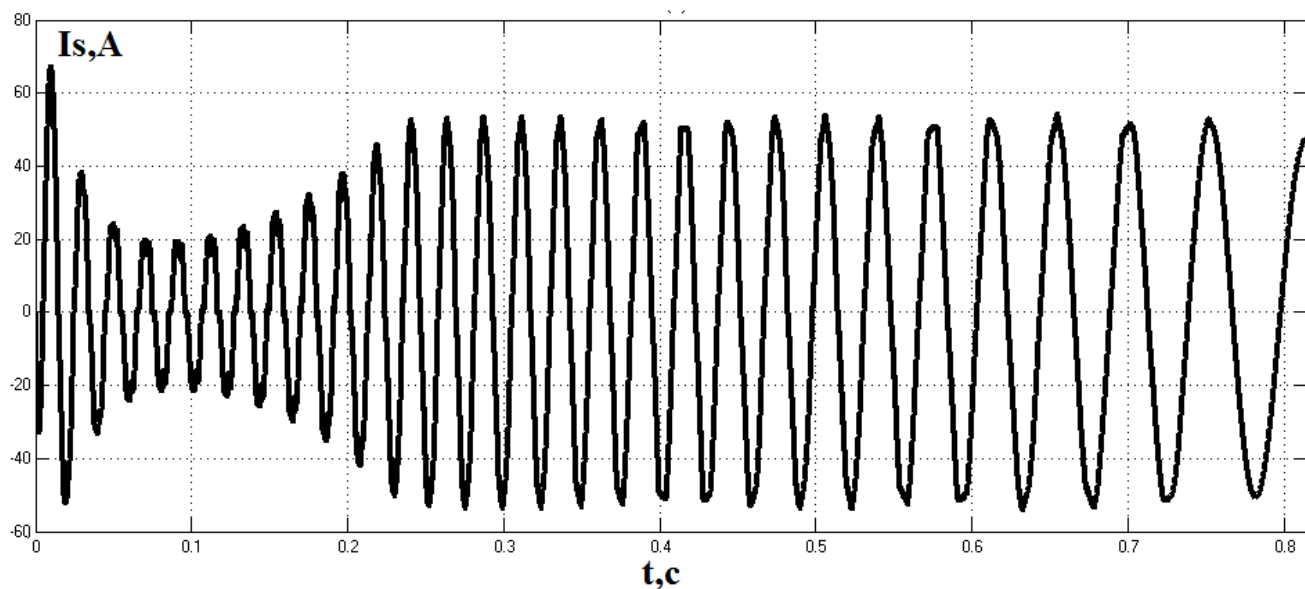


Рисунок 3.4 – Осцилограма струму статора першого двигуна типу MTF-112-6 в процесі розгону в системі дводвигунного електроприводу.

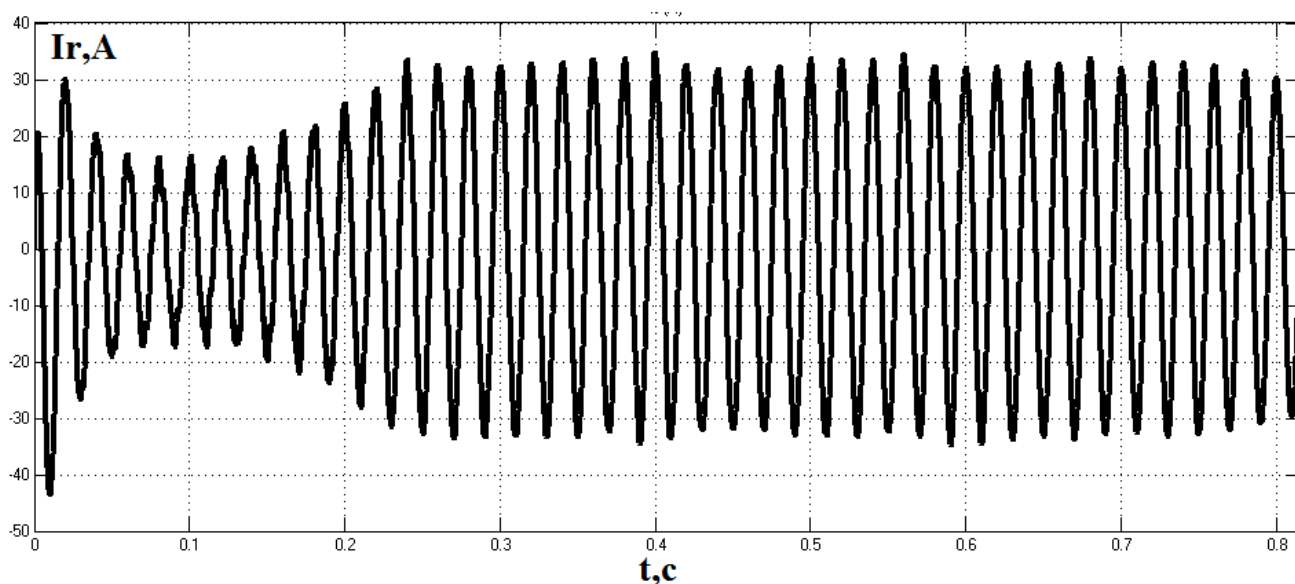


Рисунок 3.5 – Осцилограма струму ротора першого двигуна типу МТФ-112-6 в процесі розгону в системі дводвигунного електроприводу.

гальмування дводвигунного електроприводу супроводжується процесами рекуперації енергії до мережі за рахунок інвертора відомого мережею [19].

3.2. Дослідження електромеханічних процесів в дводвигунному електроприводі

На рис. 3.6 – рис. 3.7 наведені результати моделювання у вигляді осцилограм швидкостей розгону та електромагнітні моменти асинхронних двигунів в процесі пуску з виходом на сталий режим роботи дводвигунного електроприводу при тих же значення моменту опору та параметрів системи регулювання ШИР та СІФУ, які наведені у п.3.1. Як свідчить аналіз отриманих результатів, процес пуску супроводжується плавним наростанням електромагнітного моментів АД. При цьому електромагнітний момент першого двигуна має зсув по фазі відносно кривої електромагнітного моменту другого двигуна (рис. 3.7). Зсув по фазі характеризує наявність неузгодженості швидкостей обертання асинхронних двигунів та залежить від параметрів жорсткого зв'язку між роторами АД [19].

Тому має місце дослідити рівень неузгодженості роторів двох АД при різних параметрах жорсткого зв'язку (коефіцієнту жорсткості та коефіцієнту положення візку кран-балки мостового крану). Коефіцієнт положення візку приймає значення 1, коли візок займає центральне положення кран-балки, тобто відстань візка від правого та лівого краю кран-балки однакова. Зміна значення коефіцієнту положення від 1 до 0.1 характеризує зміщення положення візка від центру до одного з країв кран-балки. Для свідчення наявності ефекту самоузгодженої системи дводвигунного електроприводу, значення неузгодженості швидкостей роторів обох АД потрібно порівняти з величиною неузгодженості роторів обох АД при їх прямому пуску [19].

На рис. 3.7 – 3.8 наведені результати дослідження у вигляді 3D залежностей неузгодженості швидкостей АД від коефіцієнту положення візка кран-балки та різних значення коефіцієнту жорсткого зв'язку. Як показує аналіз отриманих результатів, найменше значення неузгодженості швидкостей АД має місце при центральному розміщенні візка на кран-балці. При зміні положення ліворуч, або праворуч на відстань не більше 20% від напів довжини кран-балки, значення неузгодженості швидкостей при використанні перетворювача практично не змінюється. При збільшенні відстані розташування візка величина неузгодженості швидкостей АД зростає за лінійним законом в 3 рази не залежно від значення коефіцієнту жорсткого зв'язку. При прямому пуску АД без застосування перетворювачів при зміні розташування візка від центрального положення інтенсивність зміни величини неузгодженості швидкостей АД зростає, та може збільшитись в 5-9 раз в залежності від коефіцієнта жорсткого зв'язку [19].

При застосуванні перетворювача отримано ефект узгодженості швидкостей обертання АД по відношенню до прямого пуску двох АД. При цьому не залежно від значення коефіцієнта жорсткого зв'язку неузгодженість обертів двох АД знижується у 3-4 рази. Зі зростанням коефіцієнту жорсткого зв'язку

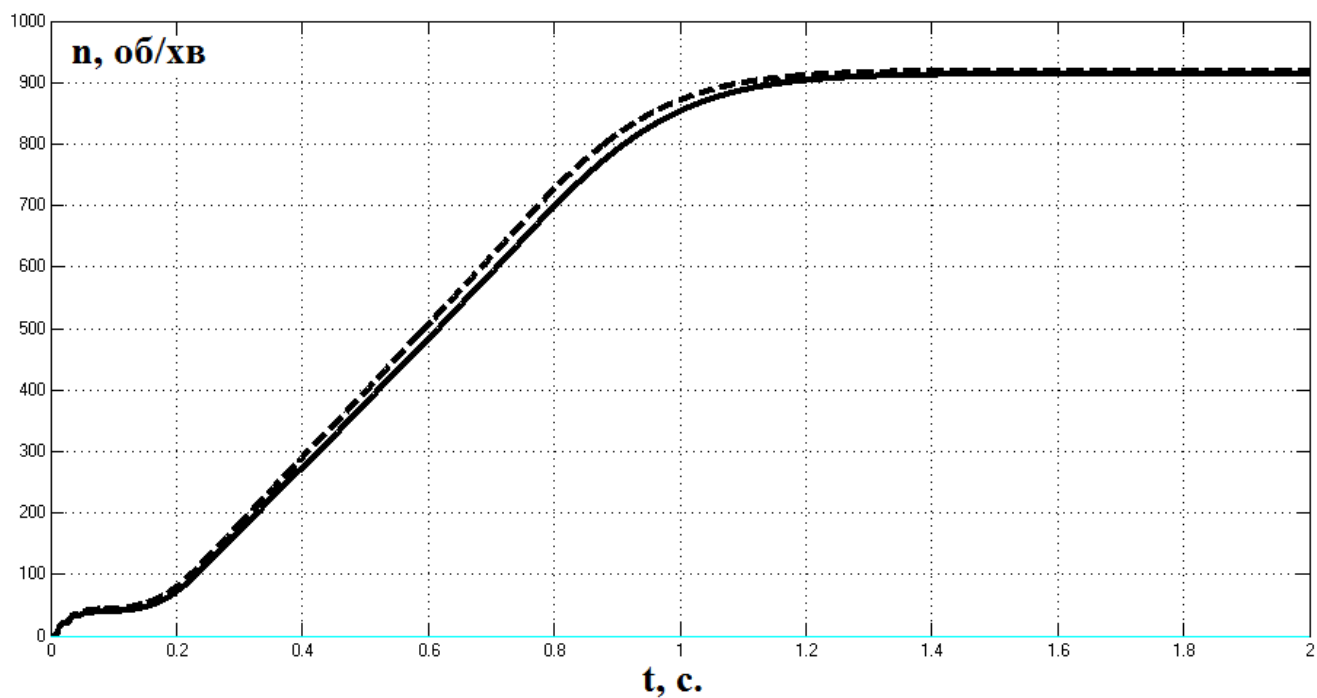


Рисунок 3.6 – Осцилограма швидкостей обертання в процесі розгону першого (пунктирна лінія) та другого (суцільна лінія) двигунів МТФ-116-6 в системі дводвигуневого електроприводу.

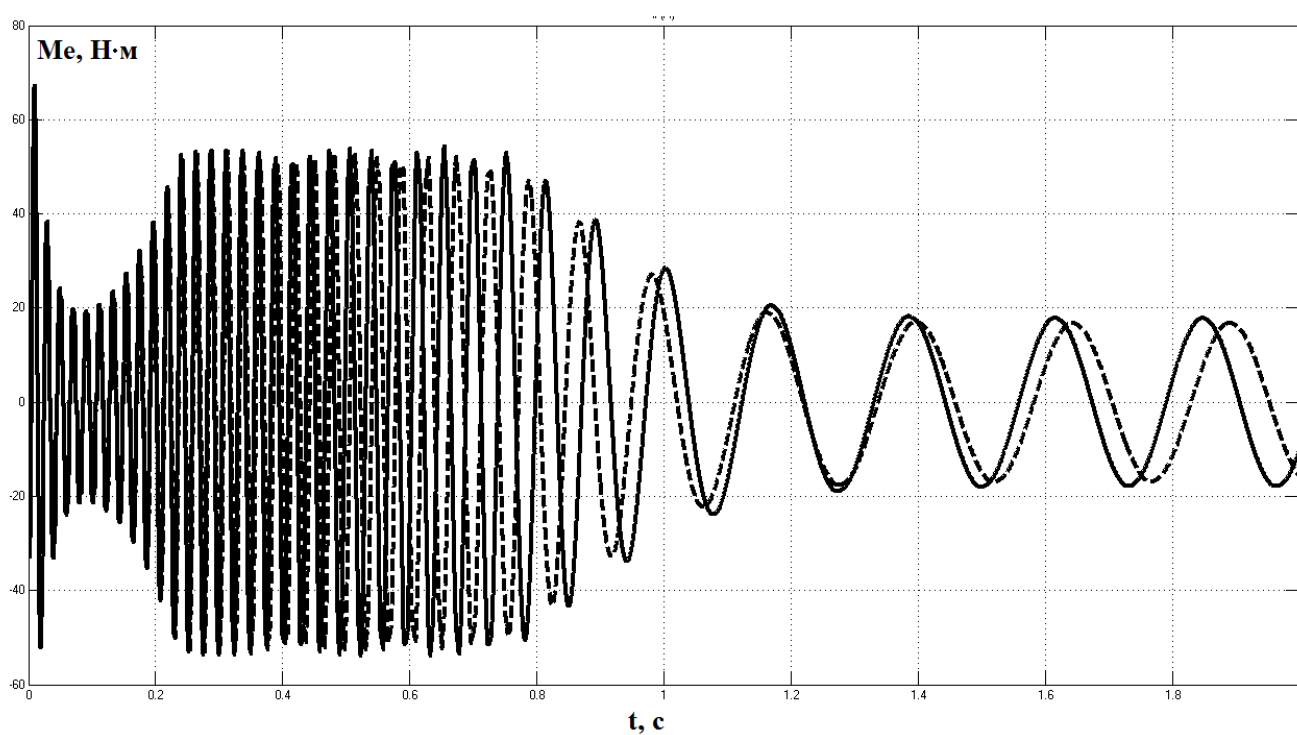


Рисунок 3.7 – Осцилограма електромагнітного моменту в процесі розгону першого (пунктирна лінія) та другого (суцільна лінія) двигунів MTF-112-6 в системі дводвигуневого електроприводу.

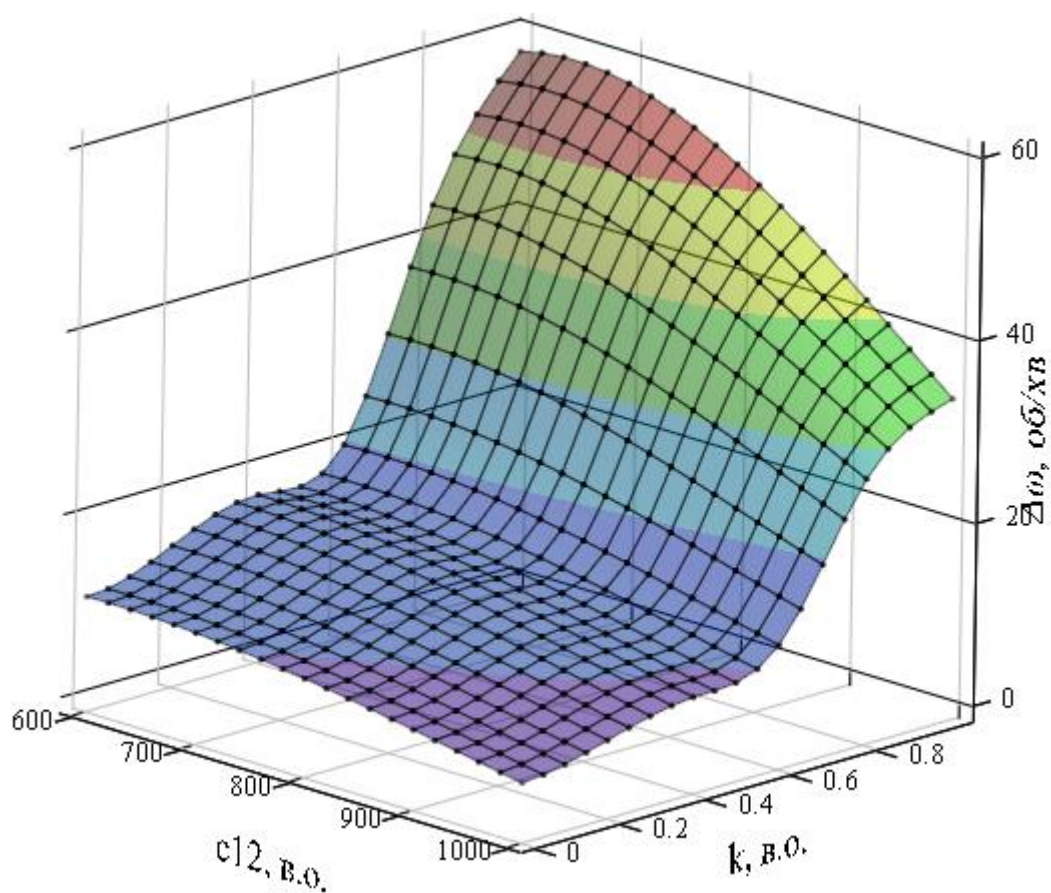


Рисунок 3.7 – Залежності неузгодженості швидкостей без перетворювача АД типу MTF-112-6 від коефіцієнту положення візка кран-балки та коефіцієнту жорсткого зв'язку

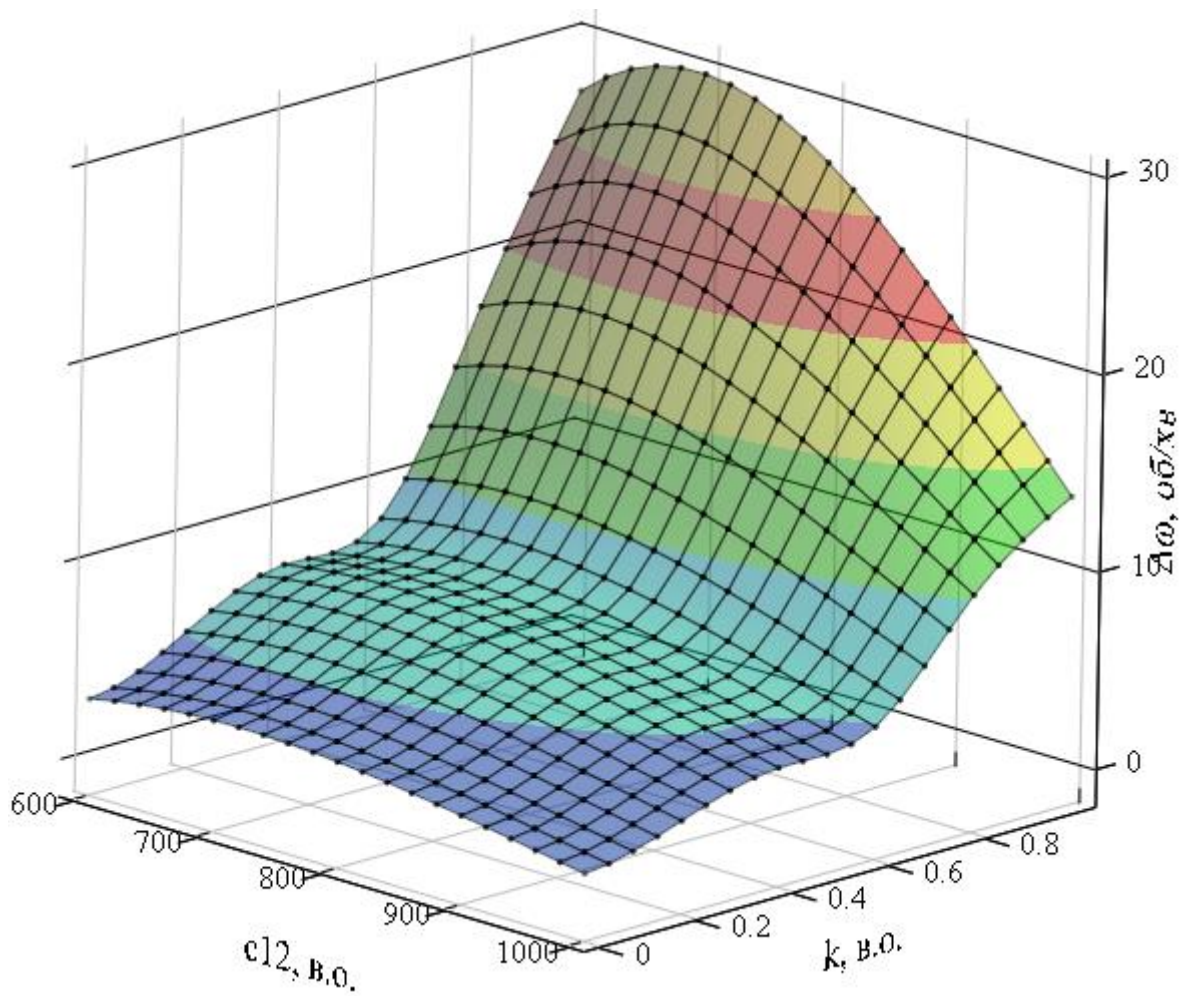


Рисунок 3.8 – Залежності неузгодженості швидкостей з перетворювачем АД типу МТФ-112-6 від коефіцієнту положення візка кран-балки та коефіцієнту жорсткого зв'язку

неузгодженість обертів роторів АД зменшується незначно, що при використанні перетворювача, що при прямому пуску двох двигунів без перетворювача [19].

Таким чином отримано ефект підвищенні узгодженості швидкостей двох АД завдяки перетворювача, який дозволяє зменшити неузгодженість обертання роторів в 3-4 рази, підвищити енергоефективність та надійність дводвигунного електроприводу. Проведено дослідження впливу положення візку кран-балки мостового крану на рівень неузгодженості роторів двох АД. Доведено, що при переміщенні візку на відстань більшу ніж 20-40% від центру кран-балки при використанні перетворювача необхідно переходити на штучну характеристику обертання роторів АД.

4 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

4.1 Характеристика продукції інноваційного проекту, оцінка ринку збуту

Існує новий принцип побудови імпульсного регулювання постійної напруги (ІППН) другого роду, заснований на формуванні пускових і регулювальних характеристик на основі імпульсно-токового регулювання (ІТР) в колі ротора АД. Такий спосіб дозволяє використовувати сучасні досягнення в силовій електроніці, а саме об'єднати переваги асинхронно вентильного каскаду та класичних схем імпульсного регулювання.

Технічні параметри характеризують якість виробу. Якість - сукупність властивостей, які роблять його здатним виконувати задані функції і задовольняти відповідні ринкові вимоги. Конкурентоспроможність - це ступінь відповідності товару в даній ринкової ситуації з технічних, економічних, експлуатаційних характеристик [21]. Техніко-економічні показники наведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1 - Техніко-економічні показники дводвигунного електроприводу

Тип двигуна	MTF 112- 6
1	2
Клас ізоляції	F
Номінальна потужність, кВт	5
Номінальна частота обертання валу, об / хв	910
ККД, %	80
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	0,74
Відношення пускового моменту до	2,2
Ковзання, %	10,0

Продовження табл. 4.1

1	2
Тип двигуна	MTF 112- 6
Номінальна напруга ротора, В	176
Номінальна напруга статора, В	380
Номінальний струм статора, А	15,5
Номінальний струм ротора, А	22 А

4.2 Собівартість і ціна виробу

Вартість сировини і основних матеріалів технічно обґрунтовано на основі норм використання і виробництва одиниці виробу і цін відповідних матеріальних ресурсів. У таблиці 4.2 приведена вартість сировини і основних матеріалів, а так само зменшення або збільшення витрат виробництва.

Таблиця 4.2 - Вартість сировини і основних матеріалів

Найменування сировини та основних матеріалів	Норми використання	Ціна, грн	Вартість, грн
1	2	3	4
Напівпровідникова продукція, т	0,372	7050	2622
Метало каркас, кг	85	165	14025
Кабельна продукція, кг	28	62	1736
Електроізоляційні матеріали, кг	5,6	177	991

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4
Разом			19374
Транспортно-заготовити-тільні витрати			1937
Всього			21311

Вартість покупних комплектуючих виробів приведена в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Вартість покупних комплектуючих виробів

Найменування	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Асинхронний двигун	2	20000	40000
Мікроконтролер	1	7500	7500
Тиристор	6	560	3834
Вимикач	2	2560	5120
Клема з запобіжником	3	54	162
Дросель	42	500	2100
Конденсатор	63	150	9450
Хомут	30	2	60
Мікросхема	17	64	1088
Розетка	4	40	160
Автоматичний вимикач	1	780	780
Шунт	1		2300
Разом			91454
Транспортно-заготівельні витрати			9145
Всього			100599

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу наведена в таблиці 4.4

Витрати на додаткову заробітну плату робітників визначаються у відсотках від основної заробітної плати.

Орієнтовна величина норматив додаткової заробітної плати для приладобудівних підприємств може бути прийнята в розмірі 40% і визначається за формулою [21]-[24]:

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_D}{100} \quad (4.1)$$

де K_D - відсоток додаткової заробітної плати.

$$ЗД = 22296 \cdot \frac{40}{100} = 8919,4 \text{ грн}$$

Таблиця 4.4 - Основна заробітна плата основних виробничих робітників

Назва робіт	Тариф, розряд	Годинна тарифна ставка, грн/год.	Норма часу год.	Сума зарплати, грн.
Заготівельні	3	28	94	2632
Свердлильні	2	26	160	4160
Монтажні	6	38	120	4560
Складальні	4	32	100	3200
Маркувальні	5	36	99	3564
Регулювальні	6	38	110	4180
Всього				22296

За діючими нормативами величина відрахування до єдиного соціального внеску становить 22% від суми основної та додаткової заробітної плати:

$$ОС = ЗО * \frac{K_{ВС}}{100} \quad (4.2)$$

де $K_{ВС}$ – відсоток відрахування до єдиного соціального внеску

$$OC = (22296 + 8919,4) * \frac{22}{100} = 6867,4 \text{ грн}$$

Загальновиробничі витрати визначаються у відсотках до основної заробітної плати:

$$OPR = 30 * \frac{\alpha}{100} \quad (4.3)$$

де α - % загальновиробничих витрат.

$$OPR = 22296 * \frac{400}{100} = 89184 \text{ грн}$$

Виробнича собівартість виробу визначається за формулою:

$$C_B = M + K + 30 + 3Д + OC + OPR, \quad (4.4)$$

$$C_B = 21311 + 100599 + 22296 + 8919,4 + 6867,4 + 89184 = 249176,8 \text{ грн}$$

Адміністративні витрати відносяться на собівартість виробу пропорційно основній заробітній платі становлять 80%:

$$AP = 30 * \frac{\beta}{100}, \quad (4.5)$$

де β - % адміністративних витрат.

$$AP = 22296 * \frac{80}{100} = 17836,8 \text{ грн}$$

Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою:

$$ЗС = C_B * \frac{\gamma}{100} \quad (4.6)$$

де γ - % затрати на побут.

$$ЗС = 249176,8 * \frac{2}{100} = 4983,5 \text{ грн}$$

Повна собівартість виробу розраховується за формулою:

$$C = C_B + AP + ЗС \quad (4.7)$$

$$C = 249176,8 + 17836,8 + 4983,5 = 271997,1 \text{ грн}$$

Прибуток становить 10% від повної собівартості:

$$П = C * \frac{P}{100} \quad (4.8)$$

де P – рентабельність виробу.

$$П = 271997 * \frac{10}{100} = 27199,7 \text{ грн}$$

Ціна випрямляча визначається сумою собівартості виробу і прибутку:

$$Ц = C + П \quad (4.9)$$

$$Ц = 271997,1 + 27199,7 = 299196,8 \text{ грн}$$

Податок на додану вартість відповідно до законодавства становить 20% від оптової ціни і розраховується за наступною формулою:

$$\text{НДС} = (\text{Ц} - \text{М} - \text{К}) * \frac{\text{Н}_{\text{НДС}}}{100} \quad (4.10)$$

де $\text{Н}_{\text{НДС}}$ – норматив податку на додану вартість,

$$\text{НДС} = (29919,8 - 21311 - 100599) * \frac{20}{100} = 35457,4 \text{грн}$$

Ціна продажу виробу визначається за формулою:

$$\text{Ц}_{\text{пр}} = \text{Ц} + \text{НДС} \quad (4.11)$$

$$\text{Ц}_{\text{пр}} = 299196,8 + 35457,4 = 334654,2 \text{грн}$$

Таблиця 4.5 - Калькуляція собівартості і цін продукції.

Витрати	Сума, грн
1	2
1 Сировина і основні матеріали	21311
2 Покупні комплектуючі вироби	100599
3 Основна заробітна плата основних виробничих робітників	22296
4 Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	8919.4
5 Єдиний соціальний внесок	6867,4
6 Собівартість виробнича	249176,8
7 Загальновиробничі витрати	89184
8 Адміністративні витрати	17836.8

Продовження табл. 4.5

1	2
9 Витрати на збут	4983,5
10 Собівартість повна	27997,1
11 Прибуток	27199,7
12 Ціна оптова	299196,8
13 Податок на додану вартість	35457,4
14 Ціна продажу	334654,2

4.3 Капітальні витрати

При перевірці електричних параметрів перетворювача були внесені фінансові вкладення на дослідження трансформатора і тиристорів по запасу короткого замикання і розробці технічної документації.

Додаткові капітальні вкладення представлені в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 - Додаткові капітальні вкладення на одиницю продукції

Витрати	Δ К, грн
Дослідницькі роботи	1450
Розроблення технічної документації	600
Разом	2050

Питомі капітальні витрати розраховуються за формулою

$$K_{\text{пит}} = \frac{\Delta K}{N} \quad (4.12)$$

де $K_{\text{пит}}$ – питомі капітальні вкладення, грн;

ΔK – додаткові капітальні вкладення, грн;

N – кількість виробів, одиниці.

$$K_{\text{пит}} = \frac{2050}{1} = 2050 \text{ грн}$$

4.4 Експлуатаційні витрати

Втрати електроенергії у виробі залежить від його ККД, потужності і часу роботи. Вартість втрат визначається за формулою [23]:

$$W_1 = \frac{1-\eta}{\eta} * P_n * K_3 T * K_v \text{Ц}_{\text{ел}}, \quad (4.13)$$

де η - ККД перетворювача, %;

P_n - номінальна потужність випрямляча, кВт;

K_3 - коефіцієнт завантаження по потужності;

T - річний фонд часу роботи випрямляча, годин;

K_v - коефіцієнт використання устаткування в часі;

$\text{Ц}_{\text{ел}}$ - ціна 1 кВт-год електроенергії, грн.

$$W_1 = \frac{1-90}{90} * 4.8 * 0,82 * 1600 * 0,75 * 2.15 = 2580 \text{ грн}$$

Величина основної заробітної плати обслуговуючого персоналу розраховують виходячи з трудомісткості обслуговування і тарифних ставок. Враховують також додаткову заробітну плату і відрахування на соціальні заходи.

Економія заробітної плати:

$$\Delta \text{ЗП} = \Delta t * l * K_d \quad (4.14)$$

де Δt - зниження трудомісткості, нормо-години;

1 - годинна тарифна ставка, грн;

K_d - коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну плату і відрахування на соціальні заходи.

$$\Delta ЗП = 180 * 20 * 1,25 = 4500 \text{грн}$$

Витрати на поточний ремонт:

$$З_p = S_p * n_p \quad (4.15)$$

де $З_p$ – витрати на поточний ремонт, грн;

S_p – вартість одного поточного ремонту, грн;

n_p – кількість поточних ремонт за рік.

$$З_p = 320 * 4 = 1280,$$

Вартість води на охолодження:

$$B_B = S_B * Y_B * T * K_B \quad (4.16)$$

де S_B - вартість 1м^3 води, грн;

Y_B - питомий використання води на охолодження, $\text{м}^3/\text{год}$.

$$B_B = 6,54 * 0,2 * 1600 * 0,75 = 1569,6$$

Витрати на утримання виробничої площі:

$$B_{пл} = B_y * S * K_{пл}$$

де $V_{пл}$ – питомі витрати на утримання виробничої площі;

S - площа, яку займає випрямляч;

$K_{пл}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову площу.

$$V_{пл} = 500 * 1,2 * 1,5 = 900$$

Амортизаційні відрахування:

$$A = K_c * \frac{H_a}{100} \quad (4.17)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн;

K_c – супутні капітальні вкладення, грн;

H_a – норма амортизаційні відрахування, %.

$$A = 1500 * \frac{20}{100} = 300$$

Результати розрахунків річних експлуатаційних витрат на в таб. 4.7

Таблиця 4.7 - Склад поточних витрат

Склад поточних витрат у споживача	Виріб		Економія, грн
	базовий	новий	
1	2	3	4
Заробітна плата	-	-	4500
Вартість електроенергії для покриття втрат в виробі, грн	0,8	0,65	8,25
Витрати на поточний і середній ремонт	1600	1280	320

Продовження табл. 4.7

1	2	3	4
Витрати на обслуговування	950	675	275
Витрати на обслуговування виробничої площі	900	900	0
Витрати, пов'язані з експлуатацією виробу, грн	322,	21,6	301,2
Амортизаційні відрахування від супутніх капітальних вкладень, грн	540	300	240
Разом			5644,45

4.5 Економічна ефективність інноваційного проекту

Економія витрат у виробництві розраховується на основі економії конкретних матеріальних, трудових та інших ресурсів.

Питомі показники:

$$K_M = \frac{C_{\text{опт}}}{\text{Масса}} \quad (4.18)$$

де K_M – питомі показники на 1 кВт на 1 кг маси;

$C_{\text{опт}}$ – оптова ціна виробу, грн;

$$K_M = \frac{299196,8}{200} = 1495,98 \text{ грн/кг}$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{C_1 - C_2} \quad (4.19)$$

де C_1, C_2 – собівартість продукції до і після впровадження інноваційного проекту, грн.

$$T_{ок} = \frac{2050}{293283,1 - 271997,1} = 0,1 \text{ г}$$

Собівартість річного випуску продукції:

$$C_p = a * C_{пол} * Q + b * C_{пол} * X \quad (4.20)$$

де $C_{пол}$ – повна собівартість одиниці продукції, грн;

a - умовно-змінні витрати;

b - умовно-постійні витрати;

X -виробнича потужність виробництва;

Q - річний обсяг випуску продукції;

$$C_p = 0,65 * 271997,1 * 43 + 0,35 * 271997,1 * 50 = 9639305,8 \text{ грн}$$

$$176798,1 * 43 = 2318,9 + 95198,98 = 7697515,9$$

Вартість річного випуску продукції:

$$Q_p = Ц * Q \quad (4.21)$$

$$Q_p = 246323.62 * 43 = 10591915,66 \text{ грн}$$

Обсяг продукції, при якому прибуток відсутній

$$Q_1 = \frac{b \cdot C_{\text{ПОЛ}} \cdot X}{C_{\text{ДОГ}} - a \cdot C_{\text{ПОЛ}}} \quad (4.21)$$

$$Q_1 = \frac{0,35 \cdot 24997,1 \cdot 50}{29919,8 - 0,65 \cdot 271997,1} = 28 \text{ од.}$$

Графік беззбитковості на рис. 4.1 показує рівень продажів (виробництва), необхідний для покриття витрат. Він включає витрати, як залежать від рівня виробництва (оплата праці виробничого персоналу, витрати на матеріали, торгові витрати), так і не залежні від нього (орендна плата, виплата відсотків, заробітна плата адміністративно-управлінського персоналу).

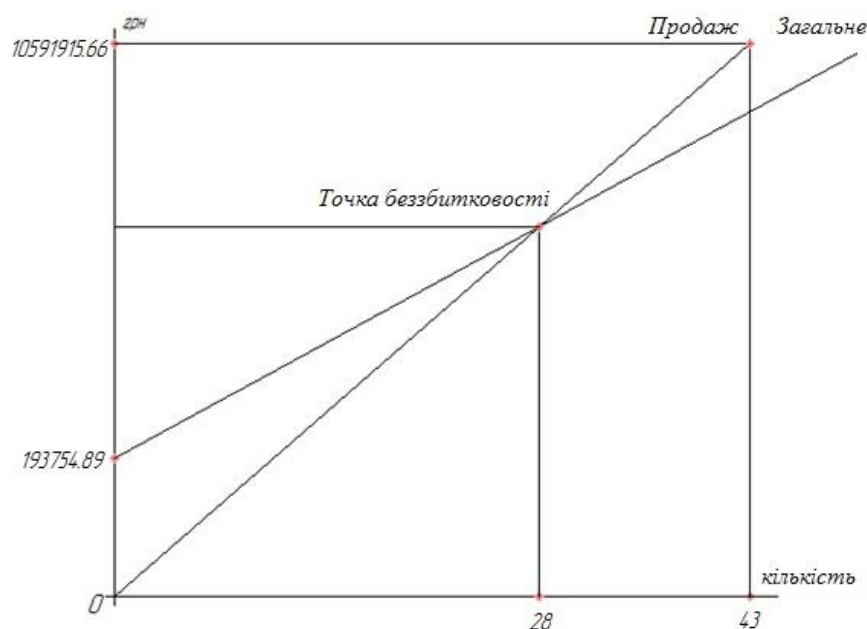


Рисунок 4.1 – Графік беззбитковості виробництва

В даному розділі були проведено аналіз конкурентної спроможності продукції, розрахунки собівартості виробництва, доцільності виробництва, визначення ціни виробу і прибутку.

Для визначення ефективності інвестованого проекту в першій частині роботи зроблено розрахунок капітальних вкладень, витрат виробництва, доходу від реалізації продукції, прибутку підприємства. Були визначені основні показники ефективності інвестиційного проекту.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки тема магістерської роботи – «Дослідження дводвигунного електроприводу потужністю 5 кВт», передбачає проведення досліджень та розрахунків у приміщенні дослідницького центру обладнаному персональними комп'ютерами (далі – ПК) з візуальними дисплейними терміналами (далі – ВДТ), тому нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії і гігієни праці для робочих місць приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ВДТ, а також заходи з пожежної безпеки та цивільного захисту, у відповідності з методичними вказівками [25].

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Ідентифікацію небезпек здійснюють згідно принципу, що «усе впливає на усе», тобто все може бути як джерелом небезпеки, так і зазнати небезпеки.

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і технологічних процесів у приміщенні дослідницького центру обладнаному ПК з ВДТ, згідно ГОСТ 12.0.003-74* «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [26], виявлені наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, здатні привести до травм або ушкодження здоров'я працівників:

- оскільки приміщення обладнане електротехнічними приладами та пристроями, тому, у разі порушення ізоляції або необережного поводження осіб, що працюють з комп'ютерами існує можливість ураження електричним струмом;
- порушення основних вимог до ергономічних характеристик моніторів може негативно позначитися на здоров'ї осіб, що працюють з комп'ютерами;
- незадовільні технічні характеристики моніторів, або неправильне його встановлення, можуть негативно вплинути на зір та на здоров'я загалом;

- підвищена або знижена температура, вологість і рухливість повітря в приміщенні, у випадку не якісної або нераціональної системи вентиляції та кондиціонування повітря, приводить до підвищеної стомлюваності, а як наслідок до помилок, зниженню працездатності, а також може бути причиною простудних захворювань;

- утворення озону, утворюється внаслідок впливу електричних зарядів, які виникають у лазерних принтерах, на кисень повітря, що сильно подразнює слизисту оболонку носа, очей і горла та може призвести до ракових захворювань як канцерогенна речовина;

- нераціональне освітлення, світлотехнічна специфіка робочих місць з ПК та недотриманням режиму праці може призвести до порушення зору осіб, що працюють з комп'ютерами;

- підвищений рівень шуму на робочому місці при неправильному або нераціональному розміщенні робочих місць і обладнання, при використанні неякісного обладнання або нераціональних режимів його роботи може бути причиною зниження працездатності, а також порушення слуху осіб, що працюють з комп'ютерами;

- підвищений рівень вібрації при неправильному або нераціональному розміщенні робочих місць і обладнання, негативно впливає на нервову, опорно-рухову та серцево-судинну системи й особливо – мікроциркуляторне русло серцево-судинної системи (дрібні судини, у яких іде безпосередня віддача кров'ю кисню й утилізація із тканин вуглекислого газу), що при тривалому впливі, може бути причиною виникнення або загострення професійної хвороби пов'язаної з впливом вібрації – «вібраційної хвороби»;

- неправильне положення роботи за комп'ютером, робота користувача вимагає тривалого статичного напруження м'язів спини, шиї, рук і ніг, що може привести до кістково-м'язових порушень;

- порушення вимог до режимів праці та відпочинку користувачів ПК, а саме неякісне або нераціональне розроблення внутрішньо-змінного режиму праці та відпочинку, відсутність або недотримання регламентованих перерв для

відпочинку є причиною підвищення нервово-емоційного напруження, втоми зорового аналізатора, погіршення мозкового кровообігу, проявів несприятливих наслідків гіподинамії, підвищення втоми;

- коротке замикання у електричному колі, може привести до виникнення пожежі, а це може бути причиною термічних опіків осіб, що працюють в лабораторії.

Також необхідно враховувати, що різні по природі своєї дії небезпечні і шкідливі виробничі фактори можуть проявлятися одночасно.

5.2 Заходи з охорони праці

5.2.1 Заходи по забезпеченню безпеки

Приміщення, у якому здійснюються заходи пов'язані з дослідженням та розрахунками дводвигунного електроприводу потужністю 5 кВт, є спеціалізованим приміщенням дослідницького центру яке обладнане ПК з ВДТ.

Приміщення дослідного центру, що обладнане ПК з ВДТ відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [27] (далі – ДСанПіН 3.3.2.007-98), «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ») [28], НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [29], ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом» [30] (далі – ДСТУ Б В.2.5-82:2016), НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [31].

Обладнання та пристрої, що розташовані в приміщенні будуть експлуатуватися згідно вимог НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної

експлуатації електроустановок споживачів» [32] (далі – «ПБЕЕС»), «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» [33] (далі – «ПТЕС») та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [34] (далі – НПАОП 0.00-7.15-18).

Робочі міста у приміщенні дослідного центру обладнані у відповідності до вимог п. 2.1, розділу II «Вимоги щодо організації та забезпечення безпеки на робочих місцях», НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [35]. Тобто, у приміщенні для кожного працівника створені здорові і безпечні умови праці. При цьому, керівництвом дослідного центру, виконані основні принципи запобігання небезпекам, а саме:

- виключена максимальна кількість небезпек, виключення яких є можливою і реальною;
- максимально обмежені небезпеки, яких уникнути неможливо;
- усунуті небезпеки у їх першоджерелах, частково виключений та максимально обмежений вплив небезпечних і шкідливих виробничих чинників;
- забезпечений пріоритет колективних засобів захисту над індивідуальними;
- врахований людський фактор, зокрема під час вибору засобів виробництва, технології, організації праці, устаткування робочих місць тощо.

З урахуванням вищезазначених вимог, у приміщенні обладнане дванадцять комп'ютеризованих робочих місць, до складу яких входять дванадцять рідкокристалічних моніторів Dell P2419H Black (210-APWU), офісні меблі та стенди. Розміри приміщення: $9,5 \times 8 \times 3,3$ м., тобто його площа – 76 м^2 , а об'єм – $250,8 \text{ м}^3$, покриття підлоги – паркет. Живлення електрообладнання приміщення здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц .

З метою мінімізації виробничого травматизму на робочих місцях, всі дослідники, які експлуатують обладнання в приміщенні дослідного центру, пройшли навчання і перевірки знань з питань охорони праці, у відповідності до вимог НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення

навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [36]. А також пройшли «вступний» та «первинний» інструктажі.

Згідно «ПУЕ» [28], за ступенем небезпеки ураження електрострумом, приміщення належить до 1-го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпеку.

Згідно глави 1.7 «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ» [28], обладнання приміщення має основну та подвійну ізоляцію, яка складається з основної та додаткової ізоляції.

Відповідно до п. 6.7.1 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» [32] ПК з ВДТ, периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК по способу захисту людини від ураження електричним струмом, належать до I класу, оскільки мають основну і подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» [32] усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні яке може опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Згідно «ПУЕ» [28] електрообладнання приміщення обладнаного ПК з ВДТ характеризується як електроустановки до 1 кВ, тому для забезпечення безпеки персоналу відповідно до вимог п. 1.7 «ПУЕ» [28] все електрообладнання заземлене. Величина опору контуру захисного заземлення, у будь-яку пору року, не перевищує – 4 Ом.

Технічний стан заземлювального пристрою у відповідності до вимог п. 7.3. «ПТЕС» [33], відповідає таблиці 25 додатка 1 до «ПТЕС» [33].

Візуальний огляд видимої частини заземлювального пристрою проводиться за графіком огляду електрообладнання, установленому особою, відповідальною за електрогосподарство дослідного центру.

Оскільки приміщення за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1-го класу, тому згідно вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» [32] та додатку №1 до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [37] (далі – «ПБЕЕ») користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають I групу з електробезпеки.

Персонал, зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників, що одноосібно обслуговує електромережі та електрообладнання у приміщенні дослідницького центру, згідно вимог пунктів 5.1.1, 5.1.2 и 6.1.7 НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» [37] та п.п. 2.2.3 і 3.2.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» [32] має III групу з електробезпеки.

Відповідно до вимог глави 1.3 «Вибір провідників за нагрівом» – «ПУЕ» [28] та ДСТУ Б В.2.5-82:2016 [30], усі електричні мережі та електроустаткування приміщення з ПК захищено від струмів короткого замикання та струмів перевантаження, а також перенапруги на ділянках цепі. В якості апаратів захисту застосовано автоматичні вимикачі. Які мають у своєму складі електромагнітний (для захисту від струмів короткого замикання) та тепловий (для захисту від перевантаження за струмом) роз'єднувачі, струми уставок яких (так як і запобіжників) обрані найменшими за розрахованими струмами для забезпечення вимог швидкодії, чутливості та селективності захисту.

Відповідно до вимог розділу «Мінімальні вимоги з охорони праці», директиви ЄС 90/270/ЄЕС [38] та НПАОП 0.00-7.15-18 [34] виконано такі п'ять основних вимог до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що працюють з комп'ютерами:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- яскравість та / або контрастність легко регулюються;
- екрани вільні від відблисків і відбиття;
- випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

Також врахований такий важливий чинник загальної ергономіки монітора,

як можливість його регулювання. Тому у приміщенні встановлені сучасні монітори які дозволяють працювати з різними відео адаптерами і в різних режимах.

5.2.2 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [29], ДСанПіН 3.3.2.007-98 [17] і НПАОП 0.00-7.15-18 [24].

Метеорологічні умови в приміщенні на робочих місцях з комп'ютерною технікою – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [30] і ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [31]. Роботи в приміщенні з КТ, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [32], з метою забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ передбачена система централізованого водяного опалення з радіаторами, а на теплий період, зважаючи на те, що площа приміщення становить 76 м² передбачений побутовий кондиціонер типу Midea MSG-36HR. Виходячи з того, що один кондиціонер розрахований на приміщення площею – 100 м².

З метою забезпечення необхідного повітрообміну у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ, зважаючи на те, що об'єм приміщення становить $250,8 \text{ м}^3$, передбачена система механічної припливно-витяжної вентиляції – методом рекуперації, за допомогою двох рекуператорів типу Prana-340A. Які забезпечують 3-кратний обмін повітря за годину, виходячи з того, що один рекуператор забезпечує наступний повітрообмін: приплив – $540 \text{ м}^3/\text{год}$, витяг – $520 \text{ м}^3/\text{год}$.

Оптимальні рівні позитивних ($n+$) і негативних ($n-$) іонів у повітрі приміщення дослідного центру з ВДТ відповідають вимогам додатку 3 ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27] і становить: $n+ = 1500-30000$ (шт. на 1 см^3); $n- = 3000-5000$ (шт. на 1 см^3). Підтримку оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечують за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

У приміщенні і на робочих місцях дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [43] та ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27], передбачено природне і штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, що створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачені сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Штучне освітлення в приміщенні, забезпечено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхнях столів в зоні розміщення документів становить $300-500 \text{ лк}$. Як джерела штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ. Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° з вертикаллю в повздовжній і поперечній площинах і складає не більше $200 \text{ кд}/\text{м}^2$, захисний кут світильників – не менше 40° . Показник осліпленості для джерел загального штучного освітлення у приміщенні не перевищує 20, а показник дискомфорту, відповідно 40.

У приміщенні обмежена можливість прямих і відбитих відблисків від джерел природного та штучного освітлення на робочих поверхнях (екран, стіл, клавіатура). Яскравість світлових поверхонь (вікон, джерел штучного освітлення), розташованих в полі зору, не перевищує 200 кд/м^2 . Яскравість відблисків на дисплеях не перевищує 40 кд/м^2 , а яскравість стелі при застосуванні системи відбитого освітлення не перевищує 200 кд/м^2 .

Захистом від прямих відблисків є зниження яскравості видимої частини джерел світла шляхом застосування спеціальних розсіювачів, відбивачів та інших світлозахисних пристроїв, а також правильне розміщення робочих місць відносно джерел світла; від відображених відблисків – правильне розміщення предметів, використання матових поверхонь предметів в приміщенні.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27] і ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [44]. Зниження рівня шуму в приміщенні з ПК здійснюється за рахунок:

- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках;
- використання ПК, в яких термодавачі вмонтовані в блоці живлення і в критичних точках материнської плати, які дозволяють програмним шляхом регулювати моменти включення і швидкість обертання вентиляторів;
- перехід жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом певного часу;
- використання ПК, в яких вентилятор на процесорі встановлений виробником (BOX-процесор);
- CD-DVD пристрої взагалі не використовуються;
- розташування принтерів та БФП колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць користувачів ПК.
- встановлено спеціальні облицювання що поглинають звук;
- використовуються SSD накопичувачі.

Під час виконання робіт з ПК, значення характеристик вібрації на робочих

місяцях не перевищують допустимого рівню, які відповідають вимогам ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» [45]. Персонал не має потреби в додатковому захисті від вібрації, яку виробляють ПК. Оскільки ПК установлені на спеціальний комп'ютерних столах, які поглинають залишкову вібрацію.

Згідно вимог п. 2.7 НПАОП 0.00-7.113-14 «Вимоги до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів» [46] (далі – НПАОП 0.00-7.113-14), з метою зменшення шкідливого впливу електромагнітних полів на здоров'я працівників обране обладнання з меншим рівнем електромагнітних полів, а саме, у приміщенні встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами шкідливого рентгенівського випромінювання. Рівень електромагнітних випромінювань моніторів відповідає вимогам ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» [47], ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27] і НПАОП 0.00-7.15-18 [34], тому спеціальні заходи для захисту персоналу не передбачені.

Крім того, згідно вимог НПАОП 0.00-7.113-14 [46], з метою зменшення шкідливого впливу електромагнітних полів на здоров'я працівників, роботодавцем забезпечене наступне:

- дизайн і взаємне розташування робочих зон у приміщенні, що обладнане ПК з ВДТ, забезпечують безпеку персоналу від електромагнітних випромінювань;
- передбачена можливість застосування технологічних прийомів і режимів роботи, які забезпечують зниження рівня електромагнітних полів;
- передбачені технічні заходи, спрямовані на обмеження впливу електромагнітних полів (блокування, екранування);
- передбачене регламентне технічне обслуговування обладнання і робочих зон;
- в екстрених випадках, передбачені обмеження тривалості впливу електромагнітних полів.

Розташування робочих місць з ПК у приміщенні виконано згідно вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27]. Розміри приміщення: 9,5×8×3,3 м., тобто його площа –

76 м², а об'єм – 250,8 м³, з урахуванням розміщення в ньому дванадцяти комп'ютеризованих робочих місць, відповідають нормативним вимогам. Оскільки на одне комп'ютеризоване робоче місце доводиться більше 6 м² площі й 20 м³ об'єму приміщення. Покриття підлоги є матовим з коефіцієнтом відбиття 0,3-0,5. Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями. Для внутрішнього оздоблення приміщень з ПК використані дифузне-відбивні матеріали з коефіцієнтами відбиття для стелі 0,7-0,8; для стін 0,5-0,6.

Обладнання та організація всіх елементів робочих місць приміщення з ПК забезпечена з урахуванням їх взаємного розташування, ергономічних вимог, характером і особливостями трудової діяльності, відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27].

При розташуванні елементів робочого місця користувача ПК були враховані: робоча поза користувача; простір для розміщення користувача; можливість огляду елементів робочого місця; можливість ведення записів, розміщення документації і матеріалів, які використовуються користувачем.

Конструкція робочого місця користувачів ПК забезпечує підтримання оптимальної робочої пози. Робочі місця з ПК розташовані відносно віконних прорізів так, щоб природне світло падало збоку переважно зліва. Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм, шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм. Поверхня сидіння і спинки стільця напівм'яка з нековзним повітронепроникним покриттям, що легко очищується і не електризується.

Вимоги до режимів праці та відпочинку користувачів ПК визначаються роботою, яку виконує користувач згідно вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27] та ДК 003:2010 «Класифікатор професій» [48]. Робота виконується у вільному темпі і пов'язана з періодичним пошуком помилок в умовах дефіциту часу, характеризується інтенсивною розумовою творчою працею з підвищеним

напруженням зору, концентрацією уваги, нервово-емоційною напругою, статичною робочою позою, періодичним навантаженням на кисті верхніх кінцівок. Тому встановлені внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при 8-годинній денній робочій зміні та передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні 2 години. Для зниження нервово-емоційного напруження, втоми зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втомі деякі перерви використовуються для виконання комплексу вправ.

Передбачений для приміщення дослідницького центру обладнаного персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці забезпечують безпечні та комфортні умови праці персоналу.

5.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.3.1 Заходи з пожежної безпеки

Комплекс протипожежних заходів для приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ВДТ, розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [31].

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» [49] у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класу – А (що супроводжується горінням твердих матеріалів);

- згідно «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [50] також можлива пожежа класу – «Е» (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [51], воно належить до категорії «Д» з пожежної безпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення дослідного центру що обладнане ПК з ВДТ належить до виробництва категорії «Д» з пожежної безпеки, тому відповідно до ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [52] (далі – ДБН В.1.1-7:2016) воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 [52] передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» [53], відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [29], та мають мінімальний ступінь захисту оболонок (ізоляції) обладнання IP44 який відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

Згідно вимог пункту 3.1.8 «ПУЕ» [28] електричні мережі у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ мають захист від струмів короткого замикання, який забезпечує найменший час відключення та вимоги селективності.

Згідно ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [54], в приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Арто-16Р». Яка забезпечує виявлення

теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення дослідного центру що обладнане ПК з ВДТ має площу 76 м², тому відповідно до вимог п. 7 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [50], для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 4 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

5.3.2 Забезпечення техногенної безпеки

Відповідно до вимог глави 12 «Кодексу цивільного захисту України» [55], джерелами небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій (далі – НС) техногенного характеру є:

- потенційно небезпечні об'єкти та об'єкти підвищеної небезпеки;
- будівлі та споруди з порушенням умов експлуатації;
- суб'єкти господарювання з критичним станом виробничих фондів та порушенням умов експлуатації;
- ядерні установки з порушенням умов експлуатації;
- наслідки терористичної діяльності;
- гідротехнічні споруди;
- неконтрольоване ввезення, зберігання і використання на території України техногенно-небезпечних технологій, речовин, матеріалів;
- надмірне та нерегульоване накопичення побутових і промислових відходів, непридатних для використання засобів захисту рослин;
- наслідки військової та іншої екологічно небезпечної діяльності;
- суб'єкти господарювання, на об'єктах яких здійснюються виробництво, зберігання та утилізація вибухонебезпечних предметів;

- об'єкти життєзабезпечення населення з порушенням умов експлуатації;
- інші об'єкти, що можуть створити загрозу виникнення аварії.

Діяльність із забезпечення техногенної безпеки є складовою виробничої, експлуатаційної та іншої діяльності відповідних посадових осіб і працівників підприємств, установ, організацій. Ця вимога відображається у відповідних статутах або положеннях.

Забезпечення техногенної безпеки суб'єкта господарювання покладається на його керівника.

Забезпечення техногенної безпеки під час проектування, будівництва об'єктів, будівель і споруд покладається на орган архітектури, замовників, забудовників, проектні та будівельні організації.

Забезпечення техногенної безпеки в жилих приміщеннях державного, комунального, приватного житлового фонду, фонду житлово-будівельних кооперативів покладається на житлово-експлуатаційні організації, квартиронаймачів та власників квартир, а в жилих будинках приватного житлового фонду – на їх власників або наймачів, якщо це обумовлено договором найму.

Вимоги щодо дотримання техногенної безпеки повинні відповідати нормам захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя, охорони навколишнього природного середовища, екологічної, пожежної та промислової безпеки, охорони праці, будівництва, а також вимогам національних стандартів.

Вимоги щодо дотримання техногенної безпеки розробляються центральними органами виконавчої влади, місцевими державними адміністраціями, суб'єктами господарювання відповідно до їх компетенції на підставі «Кодексу цивільного захисту України» [55] та інших законів.

На об'єктах підвищеної небезпеки з метою своєчасного виявлення на них загрози виникнення надзвичайних ситуацій та здійснення оповіщення персоналу та населення, яке потрапляє в зону можливого ураження, створюються та функціонують автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення

надзвичайних ситуацій та оповіщення населення у разі їх виникнення (далі – автоматизовані системи).

На гідротехнічних спорудах Дніпровського та Дністровського каскадів та в зонах їх можливого катастрофічного затоплення, на атомних електростанціях, магістральних аміакопроводах, нафто- та газопроводах створюються і функціонують автоматизовані системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій та спеціальні системи оповіщення.

На об'єктах з масовим перебуванням людей створюються та функціонують об'єктові системи оповіщення.

Вимоги до автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та систем оповіщення, а також їх улаштування, експлуатації і технічного обслуговування визначаються правилами, що затверджуються центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

Міста, на території яких розміщені суб'єкти господарювання, що мають важливе економічне і стратегічне значення для економіки і безпеки держави та становлять небезпеку для населення і територій у зв'язку з можливістю радіоактивного, хімічного забруднення чи катастрофічного затоплення, відносяться до відповідних груп цивільного захисту – особливої, першої, другої чи третьої.

Суб'єкти господарювання, що мають важливе значення для національної економіки і оборони держави, відносяться до відповідних категорій цивільного захисту – особливої важливості, першої чи другої.

5.3.3 Дослідження можливих наслідків при вибуху газоповітряної суміші

Причинами вибухів промислового газу, газоповітряних сумішей, вугільного або дерев'яного пилу можуть бути: відкритий вогонь, електрична іскра, в тому числі від статичної електрики, а також терористичний акт.

Характерними рисами вибухів пароповітряних та паливо-повітряних сумішей є:

- виникнення різних типів вибухів: детонаційного, дефлаграційного або комбінованого (найбільш розповсюджений);

- утворення п'яти зон ураження: детонаційної (бризантної), дії продуктів вибуху (вогняної кулі), дії ударної хвилі, теплового ураження та токсичного задимлення;

- залежність потужності вибуху від параметрів середовища, у якому відбувається вибух (температура, швидкість вітру, щільність забудови та рельєф місцевості).

Дія ударної хвилі на елементи споруд характеризуються складним комплексом навантажень:

- тиск прямий, відбиття, обтікання та затікання;
- навантаження від сейсмовибухових хвиль.

Дію ударної хвилі прийнято оцінювати надлишковим тиском у фронті ударної хвилі ΔP (кПа).

Визначимо максимальний надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ΔP_3 (кПа) та можливі наслідки для виробництва і персоналу при вибуху газоповітряної суміші [56], якщо під час транспортуванні ємності з пропаном масою $Q = 10 \text{ т}$ на відстані $r = r_3 = 250 \text{ м}$ від об'єкта відбувся вибух.

1. Визначимо зону детонації хвилі з радіусом r_1 і постійним значенням надлишкового тиску $\Delta P_1 = 1700 \text{ кПа}$ за формулою:

$$r_1 = 17,5 \cdot \sqrt[3]{Q} = 17,5 \cdot \sqrt[3]{10} = 37,7 \text{ м},$$

де Q – маса газу, що вибухнув (т); $Q = 10 \text{ т}$;

2. Визначимо зону дії продуктів вибуху радіусом r_2 за формулою:

$$r_2 = 1,7 \cdot r_1 = 1,7 \cdot 37,7 = 64,09 \text{ м.}$$

3. Визначаємо надлишковий тиск в межах зони r_2 за формулою:

$$\Delta P_2 = 1300 \cdot \left(\frac{r_1}{r}\right)^3 + 50 = 1300 \cdot \left(\frac{37,7}{250}\right)^3 + 50 = 54,46 \text{ кПа,}$$

де r – відстань від епіцентру вибуху до даного об'єкту, що розташований у зоні; $r = 250 \text{ м}$;

4. Визначаємо допоміжний коефіцієнт Ψ , за формулою:

$$\psi = 0,24 \cdot \frac{r}{r_1} = 0,24 \cdot \frac{250}{37,7} = 1,59 \leq 2;$$

5. Відповідно до коефіцієнту Ψ , визначимо значення надлишкового тиску у зоні повітряної ударної хвилі r_3 ($r_3 = r$), за формулою:

$$\Delta P_3 = \frac{700}{3 \cdot (\sqrt{1 + 29,8 \cdot \Psi^3} - 1)} = \frac{700}{3 \cdot (\sqrt{1 + 29,8 \cdot 1,59^3} - 1)} = 23,32 \text{ кПа.}$$

6. При вибуху ємності з пропаном надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ΔP_3 в районі об'єкта становить $23,32 \text{ кПа}$.

При цьому:

- промислові будівлі з важким та легким металевим каркасом або залізобетонним каркасом, котельня, трансформаторні підстанції, ЛЕП, водонапірні вежі, різноманітні резервуари (сталеві наземні, підземні, цистерни, вантажні автомашини) – отримують слабкі руйнування;

- працівники – можуть отримати легкі ураження (забиті місця, вивихи, тимчасова втрата слуху, загальна контузія)

Передбачений комплекс заходів з пожежної безпеки та цивільного захисту, щодо своєчасного, раціонального, всебічного та якісного забезпечення техногенної безпеки значно підвищує стійкість роботи об'єктів та безпеку персоналу і населення в умовах пожеж та інших надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У першому розділі проведено аналіз існуючих принципових схем напівпровідникових перетворювачів для електроприводу. Визначено переваги і недоліки існуючих технічних рішень.

У другому розділі розроблено комплексну імітаційну модель перетворювача, яка містить: модель асинхронного двигуна з фазним ротором; математична модель кола випрямленого струму ротора імпульсного перетворювача постійної напруги другого роду; модель випрямляча та інвертора; модель жорсткого механічного зв'язку між валами асинхронних двигунів, системи регулювання щодо синхронізації швидкостей обертання асинхронних двигунів ротором та системи імпульсно-фазового керування інвертором відомого мережею. Математична моделі системи дозволяє врахувати всі особливості протікання електромагнітних, енергетичних процесів як в двигунах так і у перетворювачі, розглянути механічні властивості асинхронних двигунів з урахуванням жорсткого зв'язку між їхніми роторами.

У третьому розділі проведено дослідження перехідних електромагнітних процесів, які свідчать про плавність та економічність ходу електроприводу. Процес розгону та гальмування дводвигуневого електроприводу супроводжується процесами рекуперації енергії до мережі за рахунок інвертора відомого мережею. Отримано ефект підвищенні узгодженості швидкостей двох АД завдяки перетворювача, який дозволяє зменшити неузгодженість обертання роторів АД типу МТФ-112-6 в 3-4 рази, підвищити енергоефективність та надійність дводвигуневого електроприводу. Проведено дослідження впливу положення візку кран-балки мостового крану на рівень неузгодженості роторів двох АД. Доведено, що при переміщенні візку на відстань більшу ніж 20-40% від центру кран-балки при використанні перетворювача необхідно переходити на штучну характеристику обертання роторів АД.

У четвертому розділі була виконана, оцінка ринку збуту, собівартість і ціну виробу, капітальні та експлуатаційні витрати, економічну ефективність даного проекту.

У п'ятому розділі розглянуті питання з охорони праці. Передбачені заходи промислової санітарії, пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Практичні результати, що були отримані у результаті дипломної роботи можуть бути застосовані при подальшому дослідженні дводвигунного електроприводу, в частині зменшення неузгодженості швидкостей двигунів у динамічних процесах збурюючих моментів робочого органу кранових механізмів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Башарин, А.В. Управление электроприводами [Текст]: Учебное пособие для вузов / А.В. Башарин, В.А Новиков, Г.Г Соколовский; – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
2. Онищенко, Г. Б. Асинхронный вентильный каскад [Текст] / О. Б. Онищенко; - М., Энергия, 1967. – 152 с.
3. Онищенко, Г. Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок [Текст] / Г. Б. Онищенко; - М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
4. Онищенко, Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания [Текст] / Г.Б. Онищенко, И.Л. Локтева; - М.: Энергия, 1979. – 200 с.
5. Зайцев, А.И. Асинхронный вентильный каскад с импульсным управлением [Текст] / А.И. Зайцев, Ю.П. Костюков. // Известия Томского Ордена Трудового Красного Знамени политехнического института. - 1965. – №5. – С. 36–42.
6. Дементьев, Ю. Н. Регулируемый электропривод переменного тока по схеме надсинхронного вентильного каскада [Текст] / Ю. Н. Дементьев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т.321. – №4. – С.116–121.
7. АС 1272463 СССР, МКИ H02 P 7/62, 1984. Электропривод переменного тока [Электронный ресурс] / В.Н. Исаков, В.П. Аркушин, В.А. Бибик, И.В. Волков, В.А. Мелещук, А.А. Носко, Ю.М. Осецкий (СССР); заявл. 03.07.85; опубл. 23.11.86, Бюл. №43. Режим доступа: <http://patents.su/4-1272463-ehlektroprivod-peremennogo-toka.html>.
8. Vicatos, M. Doubly-fed induction motor differential cascade configuration and analysis in the steady state [Text] / M. S. Vicatos J. A. Tegopoulos, I. Fellow // IEEE: Transaction on Industrial Electronics. – 1999. – Vol. 14. – No. 3. – P. 5 – 11.
9. Пат. 105994 Україна МПК H02P5/74 (2006.01). Дводвигуновий електропривід імпульсного регулювання узгодженого обертання асинхронних двигунів з фазними роторами [Електронний ресурс] / М. І. Коцур, П. Д. Андрієнко,

Д. О. Кулагін, І. М. Коцур, Д. С. Андрієнко, А. А. Андрієнко; заявн. та патентовласник Запорізький національний технічний університет; заявл. 27.10.2015; опубл. 11.04.2016, Бюл. №7 – Режим доступу: [http:// www.uipv.org](http://www.uipv.org).

10. Пат. 112044 Україна МПК H02P5/74 (2006.01). Двродвигуновий електропривід імпульсного регулювання асинхронних двигунів з фазними роторами [Електронний ресурс] / М. І. Коцур, П. Д. Андрієнко, Д. О. Кулагін, І. М. Коцур, Д. С. Андрієнко, А. А. Андрієнко; заявн. та патентовласник Запорізький національний технічний університет; заявл. 27.10.2015; опубл. 11.07.2016, Бюл. №13 – Режим доступу: [http:// www.uipv.org](http://www.uipv.org).

11. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин [Текст] / И.П. Копылов; - М.: Высшая школа. - 2001. - 327 с.

12. Кулагін, Д. О. Математична модель тягового асинхронного двигуна з урахуванням насичення магнітних кіл [Текст] / Д. О. Кулагін // Науковий вісник НГУ. – 2014. – № 6. – С. 103–110.

13. Кулагін, Д. О. Математична модель тягового асинхронного двигуна з урахуванням насичення [Текст] / Д. О. Кулагін // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 6. – С. 49-55.

14. Герман-Галкин, С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учеб. пособие / С. Г. Герман-Галкин; – СПб.: Корона принт. – 2001. - 320 с.

15. Андриенко, П. Д. Особенности построения энергоэффективной системы регулирования приводов электротехнических комплексов [Текст] / П. Д. Андриенко, М. И. Коцур, Д. А. Кулагин // Современная наука – обществу XXI века: коллективная монография / под ред. И. Н. Титаренко. – Ставрополь: Логос, 2015. – Гл. 3. – С. 48 – 65. – ISBN 978-5-905519-13-0.

16. Коцур, М. И. Сравнительный анализ энергоэффективности систем регулирования асинхронного двигателя с фазным ротором [Текст] / М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур // Ползуновский вестник. – 2013. - № 4-2. – С.114-120.

17. Коцур, М.И. Повышение энергоэффективности схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора [Текст] / М. И. Коцур // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. –2011. – №2(14) – С. 86-89.

18. Коцур, М. И. Особенности выбора балластного сопротивления для схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора [Текст] / М. И. Коцур // Електротехнічні та комп'ютерні системи. –2011 – №4(80). – С. 56 – 61.

19. Андрієнко Д.С. Асинхронний електропривід узгодженого обертання з імпульсно-струмовим обмеженням в колі електрично пов'язаних роторних випрямлячів [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.09.03 / Андрієнко Данило Сергійович. – Дніпро, 2021. – 20 с.

20. Новічков Д.А. Дослідження режиму гальмування асинхронного електроприводу з фазним ротором [Текст] / М.И. Коцур, Д.С. Андрієнко, Д.А. Новічков // Тиждень науки-2021. Електротехнічний факультет: наук. – практ. конф., 19-23 квітня 2021 р.: Запоріжжя, 2021. – С. 93-94.

21. Тарасюк Г.М. Планування діяльності підприємства. Навч. Посіб [Текст] / Г.М. Тарасюк, Л.І. Шваб. – К.: Каравела, 2003. – 432с.

22. Економіка підприємства. Підручник / За ред.. С.Ф. Покропивного. Видання друге, перероблене та доповнене [Текст]. – К.: КНЕУ, 2001 – 528с.

23. Примак Т.О. Економіка підприємства.: Навчальний посібник [Текст] / Т.О. Примак. Вікар, 2001 – 178с.

24. Курочкин А.С. Организация производства [Текст] / А.С. Курочкин. -. К.: МАУП, 2001 – 261с.

25. Журавель М. О. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) : зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітніми програмами (спеціалізаціями) – «Електротехнічні системи електроспоживання», «Електричні машини і апарати», «Електромеханічні (електротехнічні) системи та комплекси», «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод», «Електричні та електронні апарати», «Електромеханічне обладнання електроємних виробництв» : Запоріжжя: Каф. ОП

і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. 35 с. URI : <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/4857>.

26. ГОСТ 12.0.003-74*. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Введ. 1976-01-01 : чинність документа відновлена з 26.04.2019 до 01.01.2022 згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» від 24.04.2019 № 111]. М. : Госстандарт ССРСР, 1974. 4 с. URI : https://dnaop.com/html/1596/doc-ГОСТ_12.0.003-74.

27. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. К. : МОЗ України, 1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#o4>.

28. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с. URL : <https://art-energetyka.com.ua/Правила-улаштування-електроустановок.pdf>.

29. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устроювання електроустановок, затв. Міненерго СРСР 06.07.1984 р. ; чинний від 2002-01-01]. – К. : Мінпраці України, 2001. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01/card2#Card>.

30. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

31. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#n14>.

32. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#o16>.

33. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Чинний від 2006-11-05. : станом на 21.02.2017 р]. К. : Мінпаливенерго України, 2006. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06/para22#n22>.

34. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>.

35. НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. [На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16]. К. : МНС України, 2012. 37 с. Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>.

36. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93 ; чинний від 2005-02-26]. К. : Держнагляд охорони праці України, 2005. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#n32>.

37. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнагляд охорони праці, 1997. 97 с. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0011-98#o18>.

38. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с. Режим доступу : <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>.

39. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну «Гигиенической классификации труда (по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса)», затвердженої заступником Головного державного санітарного лікаря СРСР, 12.08.1986 р. № 4137-86; чинний від 2014-

05-30]. К. : МОЗ України, 2014. 94 с. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#n14>.

40. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

41. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [На заміну ГОСТ 12.1.005-76 ; чинний з 1989-01-01 : чинність документа відновлена з 26.04.2019 до 01.01.2022 згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» від 24.04.2019 № 111]. М. : МОЗ СРСР, 1988. 50 с. URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200003608>.

42. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. Режим доступу : <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1018>.

43. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. URL : https://ledeffect.com.ua/images/___branding/dbn2018.pdf.

44. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>.

45. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

46. НПАОП 0.00-7.113-14. Вимоги до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів. [Чинний від 2014-03-21]. К. : Міненерговугілля України, 2014. 116 с. Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0335-14#n25>.

47. ДСНіП 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Чинний від 2003-03-13]. – К. : МОЗ України, 2003. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03#o14>.

48. ДК 003:2010. Класифікатор професій. [На заміну ДК 003:2005 ; чинний від 2010-01-11 ; станом на 15.02.2019]. К. : Держспоживстандарт України, 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va327609-10>.

49. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87 ; чинний з 01.01.2016]. К. : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. URL : <https://ts.kiev.ua/klasyfikatsiia-pozhezh/>.

50. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#n13>.

51. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. URL : <https://studfile.net/preview/7596676/>.

52. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. URL : <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-88>.

53. СНиП 2.09.02-85* Производственные здания. Зі змінами. [На заміну СНиП II-90-81 ; СНиП II-М.2-62 ; СН 317-65 ; СН 353-66 ; чинний від 1987-01-01]. К. : Госстрой СССР, 1988. URL : http://www.cgntb.dp.ua/menu_479.html.

54. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с. URL : <https://nvfi.biz/-norms/-ДБН/2014%20ДБН%20В.2.5-56%20Системи%20протипожежного%20захисту>.

55. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 10.06.2021. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#n298>.

56. Журавель М. О., Курков О. Б., Журавель С. М. Розрахунок зон ураження від вибухів і пожеж, що виникли у наслідок надзвичайної ситуації техногенного характеру або терористичного акту : методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для

студентів усіх спеціальностей та форми навчання : Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ
«Запорізька політехніка», 2019. 18 с. URI :
<http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/4851>.