

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 "Розрахунок асинхронного двигуна 3,5кВт та дослідження режиму гальмування в системі електроприводу"

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

141 "Електроенергетика, електротехніка, та
електромеханіка"

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Жабицький Р.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Коцур М. І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

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)

ЗАТВЕРДЖУЮ**Завідувач кафедри** П. Д. Андрієнко"_____" 20 року**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**Жабицькому Роману Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Розрахунок асинхронного двигуна 3,5кВт та дослідження режиму гальмування в системі електроприводу"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) _____ до 15.12.20213. Вихідні дані до проекту (роботи) $P=3,5$ кВт; $m=3$; $f=50$ Гц; $U=380$ В; синхронна частота обертання $n=1000$ об/хв; ККД=70%, коефіцієнт потужності – 0,73.4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Особливості режимів роботи асинхронних двигунів. 2. Електромагнітний розрахунок асинхронного двигуна. 3 Розробка імітаційної моделі системи асинхронного електроприводу для реалізації режиму гальмування. 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.652415.001СК (ФА1) Асинхронний двигун МТФ-111-6 (ФА1); 2. ГКІЮ.715005.002П (ФА1) Імітаційна модель асинхронного 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**

/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Особливості режимів роботи асинхронних двигунів	10.02.21-10.04.21	
	Електромагнітний розрахунок асинхронного двигуна	10.02.21-14.06.21	
	Розробка імітаційної моделі системи асинхронного електроприводу для реалізації режиму противмиканням	14.06.21-15.11.21	
	Економічна оцінка асинхронного двигуна з фазним ротором	15.11.21-25.11.21	
	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	15.10.21-25.11.21	
	Графічна частина	25.11.21-07.12.21	
	Оформлення ПЗ	до 15.12.21	

Студент

_____ Р. С. Жабицький
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

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

РЕФЕРАТ

ПЗ: 118с., 22 рис., 6 табл., 56 джерел.

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ДВИГУН,
ГАЛЬМУВАННЯ, ШВИДКІСТЬ

Предметом дослідження є електропривод з двигуном серії MTF-111-6 потужністю 3,5 кВт, 1000 об/хв.

Об'єктом дослідження є електромагнітні процеси у системі асинхронного електроприводу при реалізації режиму противмиканням.

Мета роботи – дослідження електромагнітних процесів асинхронного електроприводу під час реалізації режиму противмикання.

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

Анотація. Виконано огляд режимів роботи асинхронного електроприводу для двигунів з фазними роторами. Виконано електромагнітний розрахунок асинхронного двигуна. Вдосконалена комплексна імітаційна модель асинхронного електроприводу з перетворювачем за схемою імпульсного регулювання в колі ротора, яка відрізняється тим, що містить контактору групу в колі статора для реалізації режиму противмикання. Розглянуті електромагнітні процеси під час гальмування противмиканням асинхронного двигуна з фазним ротором у системі асинхронного електроприводу. Доведено зменшення наростання фазних струмів статора та ротора асинхронного двигуна з фазним ротором, а також скачка його моменту під час реверсу.

Розробку математичної моделі виконано за допомогою програми MatLAB на ПК.

Актуальність. З найпоширеніших способів гальмування електроприводів, найбільшого поширення набув режим гальмування противмиканням, що володіє високою надійністю. Недоліком даного режиму є те, що робота АДФР близька до

аварійного, а сам АДФР в цей момент споживає більше енергії. При цьому в момент реверсу електрорушійна сила (е.р.с.) ротора зростає в два рази, а струм в цей момент може бути вдвічі більший за струм короткого замикання.

На теперішній час існує технічне рішення щодо реалізації режимів гальмування противмиканням для дводвигунного електроприводу, яке виключає недоліки при способу гальмування противмиканням, що реалізується в інших системах електроприводу [1]. Але не було в повному обсязі досліджено щодо рівня обмеження аперіодичних складових фазних струмів статора та ротора асинхронного двигуна з фазним ротором, а також скачка його моменту під час реверсу.

Тому актуальним завданням є подальше дослідження електромагнітних процесів в асинхронному двигуні при реалізації режиму гальмування противмиканням відомої системи електроприводу з імпульсним регулюванням та отримання підтвердження ефективності від реалізації технічного рішення та отриманих результатів дослідження в роботі [1].

Наукова новизна:

Вдосконалена комплексна імітаційна модель асинхронного електроприводу з перетворювачем за схемою імпульсного регулювання в колі ротора, яка відрізняється тим, що містить контактору групу в колі статора для реалізації режиму противмикання.

Практична цінність:

Підтверджено ефективність синтезу контакторної схеми, що реалізує режим гальмування противмиканням із сучасною системою імпульсного регулювання. При реалізації режиму гальмування противмиканням асинхронного електроприводу з імпульсним регулюванням отримано підтвердження щодо зниження ударної складової струмів статора, ротора та електромагнітного моменту під час реверсу.

ЗМІСТ

Реферат.....	4
Зміст.....	6
Вступ.....	8
1. Особливості режимів роботи асинхронних двигунів	9
1.1. Особливості застосування асинхронних двигунів.....	9
1.2. Гальмівні режими асинхронних двигунів.....	11
2 Електромагнітний розрахунок асинхронного двигуна	19
2.1. Вибір головних розмірів	19
2.2. Розрахунок обмотки статора	21
2.3 Розрахунок розмірів зубцевої зони статора та повітряного проміжку..	26
2.4 Розрахунок зубцевої зони та обмотки фазного ротора.....	30
2.5 Розрахунок магнітного кола	37
2.6 Параметри АД для номінального режиму.....	45
2.7 Розрахунок втрат.....	55
2.8 Розрахунок холостого ходу.....	62
3 Розробка імітаційної моделі системи асинхронного електроприводу для реалізації режиму противмиканням.....	65
3.1. Розробка імітаційної моделі системи асинхронного електроприводу для реалізації режиму противмиканням.....	65
3.2. Дослідження режиму противмиканням асинхронного електроприводу	72
4. Економічна оцінка двигуна з фазним ротором.....	77
4.1 Характеристика продукції, інноваційного проекту, оцінкаринкового збуту.....	77
4.2 Собівартість та ціна виробу.....	79
4.3 Експлуатаційні витрати.....	86
4.4 Беззбитковість.....	89

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	91
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	91
5.2 Заходи з охорони праці.....	93
5.2.1 Заходи по забезпеченню безпеки.....	93
5.2.2 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці.....	97
5.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	102
5.3.1 Заходи з пожежної безпеки.....	102
5.3.2 Оповіщення та інформування суб'єктів забезпечення цивільного захисту.....	104
5.3.3 Дослідження захисної споруд цивільного захисту за місткістю.....	106
Висновки.....	110
Перелік джерел посилань.....	112

ВСТУП

На сьогоднішній день існує велика кількість електротехнічних комплексів кранового обладнання на основі сучасних систем регулювання електроприводами на базі асинхронного двигуна з фазним ротором (АДФР). Такими є системи асинхронно-вентильного каскаду (АВК), і системи імпульсного регулювання (ІР).

При цьому залишається частина електроприводів, які не пройшли модернізацію з застарілими контакторами, резисторними схемами регулювання на базі АДФР, які не відповідають сучасним вимогам в частині енергоефективності і не можуть здійснити плавний пуск і гальмування приводу в процесі виконання виробничого циклу.

Однак на відміну від АВК і ІР, здатні швидко і ефективно виконувати гальмування, що дуже важливо в аварійних режимах. Для цих цілей в приводах найбільшого поширення набув режим гальмування противмиканням, що володіє високою надійністю. Недоліком даного режиму є те, що робота АДФР близька до аварійного, а сам АДФР в цей момент споживає більше енергії. При цьому в момент реверсу електрорушійна сила (е.р.с.) ротора зростає в два рази, а струм в цей момент може бути вдвічі більший за струм короткого замикання.

На теперішній час існує технічне рішення щодо реалізації режимів гальмування противмиканням для дводвигунного електроприводу, яке виключає недоліки при способу гальмування противмиканням, що реалізується в інших системах електроприводу [1]. Але не було в повному обсязі досліджено щодо рівня обмеження аперіодичних складових фазних струмів статора та ротора асинхронного двигуна з фазним ротором, а також скачка його моменту під час реверсу.

Тому актуальним завданням є дослідження електромагнітних процесів в асинхронному двигуні при реалізації режиму гальмування противмиканням відомої системи електроприводу з імпульсним регулюванням та отримання підтвердження ефективності від реалізації технічного рішення за [1].

1 ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

1.1. Особливості застосування асинхронних двигунів

Асинхронні двигуни (АД) - найпоширеніші з усіх видів електричних двигунів, що відрізняється високою надійністю в роботі, конструктивною простотою, відносною дешевизною у виробництві, в обслуговуванні та ремонті, меншими ваговими і габаритними параметрами [1].

В даний час на частку АД припадає не менше 80% всіх електродвигунів, що випускаються електротехнічної промисловістю. При цьому значну питому вагу в усьому класі АТ становлять АТ з фазним ротором [1].

Асинхронні двигуни з фазним ротором застосовуються в приводах, що вимагають значного пускового моменту при відносно невеликому пусковому струмі і малому часу розгону. Ці двигуни особливо доцільні в умовах важкого пуску з великим навантаженням і моментом інерції.

Для комплектації приводів конвеєрних систем найчастіше використовується АД з фазним ротором з метою забезпечення плавного пуску при розгоні і гальмуванні конвеєра, а також плавного регулювання швидкості приводу без зниження статичного моменту на валу. Конвеєр відноситься до механізмів безперервної дії з постійною розподілені навантаженням. Режим роботи асинхронного двигуна в такому механізмі тривалий (S1) [2].

Найбільше застосування асинхронні двигуни з фазним ротором знайшли в кранових механізмах всіх типів (підйом, пересування, поворот), які працюють тільки в повторно - короткочасному режимі.

Тривалий режим (S1) - це режим тривалої роботи при практично незмінному навантаженні і температурі охолоджуючої середовища, достатньої для нагріву всіх її частин до величини сталої температури. Режим характеризується незмінними втратами протягом всього часу роботи машини [2].

Повторно-короткочасний режим (S3) - режим повторно-короткочасного навантаження. Характеризується послідовністю ідентичних циклів, кожен з яких складається з періодів роботи двигуна при постійному навантаженні і періодів відключення, причому тривалість періодів роботи недостатня для досягнення теплового рівноваги за час одного робочого циклу [2].

Згідно ГОСТ 183-74 регламентовані стандартні значення ПВ: 15%, 25%, 40%, 60% з тривалістю одного циклу рівному 10 хв.

Для повторно-короткочасного режиму S3 передбачається відсутність впливу на нагрів машини збільшення втрат за час пуску, так як тривалість пускового періоду набагато менше періоду роботи машини. Асинхронні двигуни з фазним ротором, розраховані на повторно-короткочасний режим S3, можуть використовуватися в короткочасному (S2) і тривалому (S1) режимах роботи.

За призначенням АД з фазним ротором поділяються на кранові і металургійні. Кранові АД призначені для приводу кранових механізмів загальнопромислового призначення, а так інших агрегатів, робота яких характеризується короткочасним і повторно-короткочасним режимами і великими кратностями перевантажень. Для кранового ДТ основним номінальним режимом є повторно-короткочасний режим (S3) з відносною тривалістю включення 40% (ПВ = 0.4) (ГОСТ 183-74).

Металургійні електродвигуни призначені для приводів металургійного виробництва, а також для інших приводів, що працюють при підвищених температурах навколишнього середовища. Для ряду механізмів режим роботи двигунів характеризується високою тривалістю включення аж до тривалого режиму S1. Для цих механізмів двигун, обраний за величиною максимального моменту, може бути термічно перевантажений [3].

Застосування кранових АД викликано особливостями краново-металургійного електроприводу, який характеризується повторно-короткочасним режимом роботи при більшій частоті включень, широким діапазоном регулювання швидкості і великою кратністю пускових і перевантажувальних обертаючих моментів. Асинхронний електропривод кранових механізмів працює

в умовах підвищеної тряски і вібрації, в ряді випадків при високих значеннях температур навколишнього повітря (до 70 ° С). [3].

1.2. Гальмівні режими асинхронних двигунів

Повна механічна характеристика асинхронного двигуна у всіх квадрантах поля $M-s$, представлена на рис.1.1 [4].

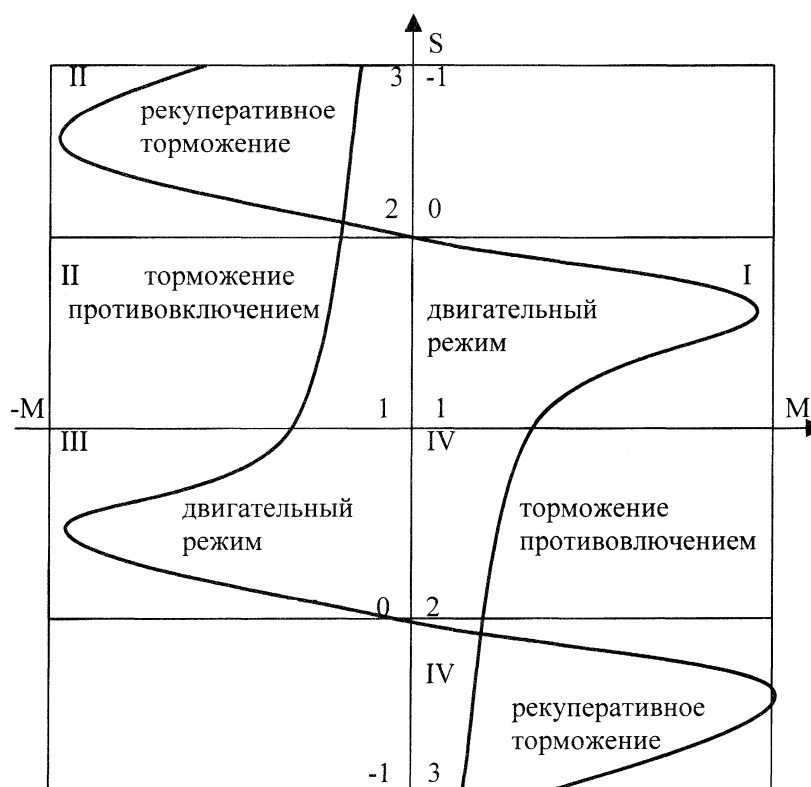


Рисунок 1.1 - Повна механічна характеристика асинхронного двигуна

Асинхронний двигун може працювати в трьох гальмівних режимах: рекуперативного гальмування, динамічного гальмування і гальмування противмиканням; специфічним гальмівним режимом є також конденсаторне гальмування.

Рекуперативне генераторне гальмування можливе, коли швидкість ротора вище швидкості обертання електромагнітного поля статора, чому відповідає від'ємне значення ковзання $\omega > \omega_0$; $s < 0$.

Для того, щоб ротор двигуна перейшов синхронну швидкість і розігнався до швидкості вище синхронної, до його валу повинен бути прикладений зовнішній позитивний по знаку обертового моменту. Це можливо, наприклад, в приводі підйомної лебідки в режимі спуску вантажу [4].

Механічна характеристика асинхронного двигуна в режимі рекуперативного гальмування ідентична (з урахуванням кутової симетрії) характеристиці двигуна в руховому режимі. Максимальний момент в режимі рекуперативного гальмування трохи вище, ніж максимальний момент в руховому режимі. Для рекуперативного режиму [5]:

$$M_{кг} = \frac{3U_1^2}{2\omega_0(r_1 - \sqrt{r_1^2 + x_k^2})}. \quad (1.1)$$

Відношення M_k в руховому режимі до $M_{кг}$ в гальмівному буде [5]:

$$\frac{M_{кг}}{M_k} = \frac{r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_k^2}}{r_1 - \sqrt{r_1^2 + x_k^2}}. \quad (1.2)$$

Дещо велика величина максимального моменту в генераторному режимі пояснюється тим, що втрати в статорі (на опорі R_1) в руховому режимі зменшують момент на валу, а в генераторному режимі момент на валу повинен бути більше, щоб покрити втрати в статорі.

Енергетичний баланс в режимі рекуперативного генераторного гальмування визначається наступним чином (рис.1.2). Механічна потужність, яка надходить на вал двигуна, перетворюється в електромагнітну потужність обертового поля P_{em} і електричну потужність, трансформовану в роторний ланцюг двигуна [5]:

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{эм}} + P_S = M_T \omega_0 + M_T \omega_0 \cdot |s|.$$

Електромагнітна потужність, за винятком втрат в статорі, віддається в мережу живлення. Відзначимо, що в режимі рекуперативного гальмування асинхронний двигун генерує і віддає в мережу активну потужність, а для створення електромагнітного поля асинхронний двигун і в режимі генератора повинен обмінюватися з мережею реактивною потужністю [5-7].

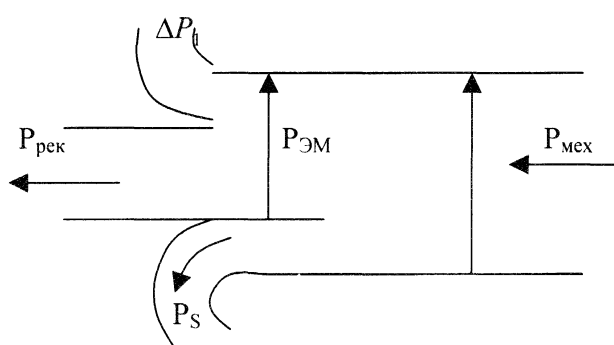


Рисунок 1.2 - Енергетична діаграма асинхронного двигуна в режимі рекуперативного гальмування

Спосіб динамічного гальмування характеризується тим, що статорні обмотки відключаються від мережі змінного струму і підключаються до джерела постійної напруги (рис. 1.3). При живленні обмоток статора постійним струмом створюється нерухоме в просторі електромагнітне поле, тобто швидкість обертання поля статора $\omega_{0\text{дт}} = 0$. [8]

Вид механічних характеристик (рис. 1.4) подібний до характеристик в режимі рекуперативного гальмування. Вихідною точкою характеристик є початок координат. Регулювати інтенсивність динамічного гальмування можна змінюючи величину струму збудження в обмотках статора. Чим вище струм, тим більший гальмівний момент розвиває двигун. При цьому, однак, потрібно враховувати, що при струмах $I_{\text{дт}} > I_{\text{Ін}}$ починає позначатися насичення магнітного ланцюга двигуна.

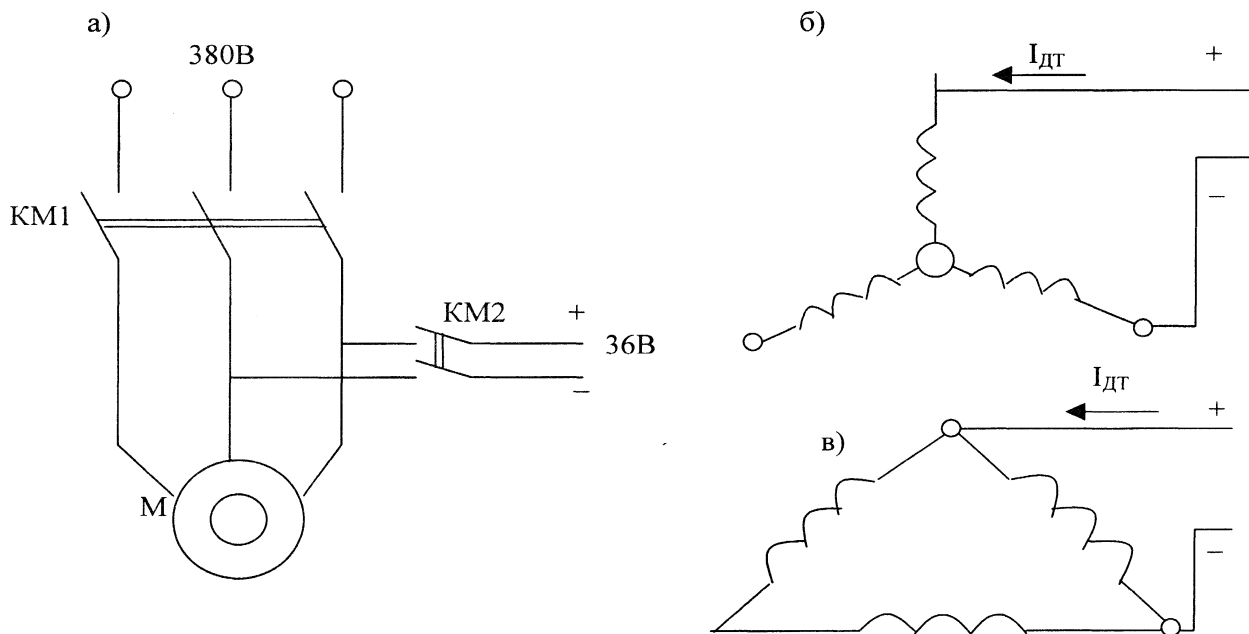


Рисунок 1.3 – Схеми підключення асинхронного двигуна в режимі динамічного гальмування

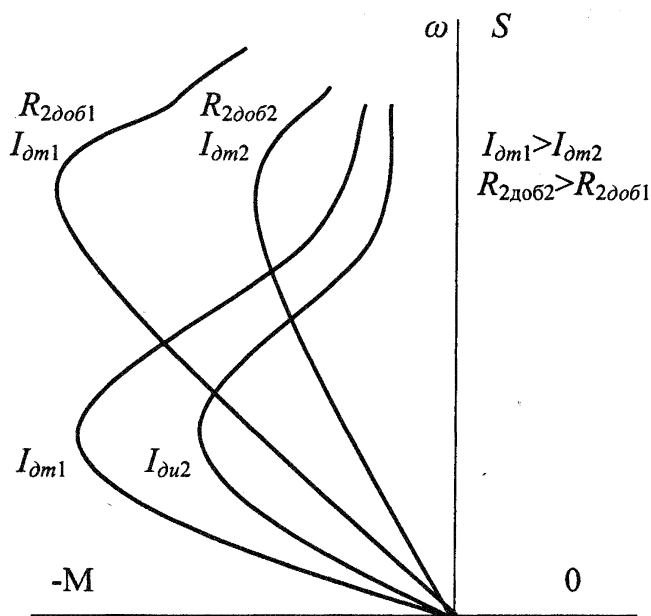


Рисунок 1.4 - Механічні характеристики асинхронного двигуна в режимі динамічного гальмування

Для асинхронних двигунів з фазним ротором регулювання гальмівного моменту може проводитися також шляхом введення додаткової опору в ланцюг

ротора. Ефект від введення додаткового опору аналогічний тому, який має місце при пуску асинхронного двигуна: завдяки поліпшенню $\cos \varphi_2$, підвищується критичне ковзання двигуна і збільшується гальмівний момент при великих швидкостях обертання [8].

Роботу асинхронного двигуна в режимі динамічного гальмування можна розглядати як роботу трифазного асинхронного двигуна при живленні його постійним струмом, тобто струмом при частоті $f_1 = 0$. Друга відмінність полягає в тому, що обмотки статора живляться не від джерела напруги, а від джерела струму.

Енергетично в режимі динамічного гальмування асинхронний двигун працює як синхронний генератор, навантажений на опір роторної ланцюга двигуна. Отже, вся механічна потужність, що надходить на вал двигуна при гальмуванні, перетворюється в електричну і йде на нагрів опорів роторного ланцюга [8].

Збудження асинхронної машини в режимі динамічного гальмування може здійснюватися не лише подачею постійного струму в обмотки статора машини, але також в режимі самозбудження шляхом підключення конденсаторів до ланцюгів статора асинхронної машини, як це показано на рис.1.5. Такий спосіб гальмування називають конденсаторним гальмуванням асинхронних двигунів. З енергетичної сутності цей вид гальмування ідентичний динамічному гальмуванню, тому що енергія, яка надходить з вала, перетворюється в електричну і виділяється у вигляді втрат в роторі двигуна [8].

Процес самозбудження асинхронного двигуна відбувається наступним чином. Під дією залишкового потоку ротора в обмотках статора наводиться е.р.с., під дією якої виникає намагнічуючий струм, що протікає через конденсатори. При цьому збільшується потік машини, отже, що наводиться е.р.с. і струм намагнічування. Верхня і нижня границі режиму самозбудження і величина гальмівного моменту залежать від величини ємності конденсаторів [5-8].

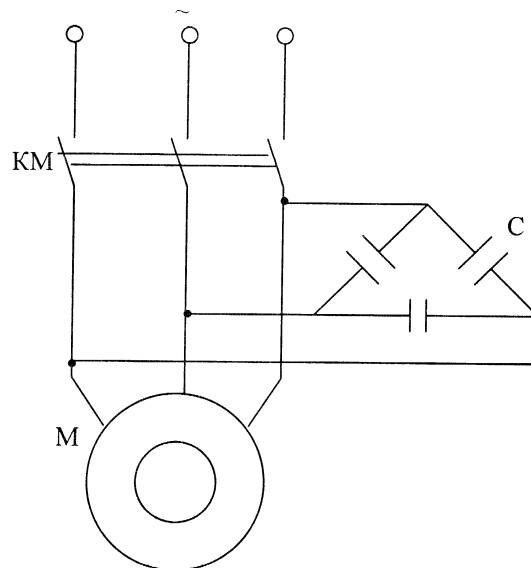


Рисунок 1.5 - Схема вмикання асинхронного двигуна в режимі динамічного гальмування з самозбудженням від конденсаторів

Даний спосіб гальмування застосовується для приводів малої потужності (до 5 кВт), тому що вимагає установки конденсаторів значного об'єму.

Гальмування противмиканням може бути в двох випадках [8]:

- в першому, коли при роботі двигуна необхідно його екстрено зупинити, і з цією метою змінюють порядок чергування фаз живлення обмоток статора двигуна;

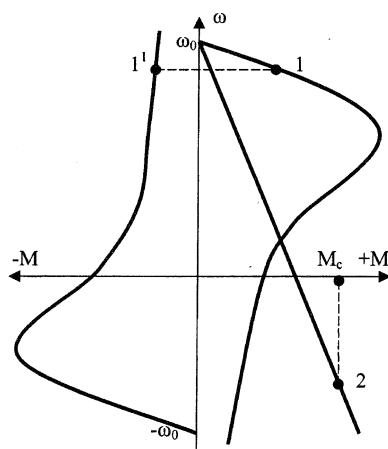
- у другому, коли електромеханічна система рухається під дією опускаемого вантажу, а двигун вмикається в напрямку підйому, щоб обмежити швидкість спуску (режим протягуемого вантажу).

В обох випадках електромагнітне поле статора і ротор двигуна обертаються в різні сторони. Ковзання двигуна в режимі противмикання завжди більше 1.

$$s_{nv} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} > 1. \quad (1.3)$$

У першому випадку (рис. 1.6) двигун, що працював в т.1, після зміни порядку чергування фаз двигуна переходить в гальмівний режим в т.1' і швидкість приводу швидко знижується під дією гальмівного моменту M_m і статичного

моменту M_c . При уповільненні до швидкості, близької до нуля, двигун вимикається, інакше буде розганятися в протилежному напрямку обертання [8].



1, 1' - природні механічні характеристики при включенні «вперед» і «назад»;

2 - механічна характеристика двигуна з фазним ротором з увімкненим додатковим опором в колі ротора.

Рисунок 1.6 - Режим противмикання асинхронного двигуна.

У другому випадку після зняття механічного гальма двигун, включений в напрямку вгору, під дією сили тяжіння вантажу, що спускається буде обертатися в протилежному напрямку зі швидкістю, що відповідає точці 2. Робота в режимі противмикання під дією протягуємого вантажу можлива при використанні двигунів з фазним ротором. При цьому в ланцюг ротора вводиться значний додатковий опір, якому відповідала б характеристика 2 (рис.1.6.)

Енергетично режим противмикання вкрай несприятливий. Струм в цьому режимі для асинхронних короткозамкнених двигунів перевершує пусковий, досягаючи 10-кратного значення. Втрати в роторному ланцюзі двигуна складаються з втрат короткого замикання двигуна і потужності, яка передається на вал двигуна при гальмуванні.

$$\Delta P_{S_{нв}} = M_m \omega_0 + M_m \omega. \quad (1.4)$$

Для короткозамкнених двигунів режим противмикання можливий тільки протягом декількох секунд. При використанні двигунів з фазним ротором в режимі противмикання обов'язково включення в коло ротора додаткового опору. У цьому випадку втрати енергії залишаються такими ж значними, але вони виносяться з об'єму двигуна в роторні опору.

2 ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

2.1 Вибір головних розмірів

Розрахунок асинхронного двигуна з фазним ротором типу МТФ-111-6, із ступенем захисту від впливу навколишнього середовища IP23 та способом охолодження IC01 проводиться за методикою Копилова І.П. [9]. Розрахунок починається із визначення головних розмірів: зовнішнього та внутрішнього діаметра статора і розрахункової довжини повітряного зазору.

Кількість полюсів та пар полюсів – $p=3$ та $2p=6$ відповідно, висота вісі обертання – $h=112$ мм.

Внутрішній діаметр статора

$$D = K_D \cdot D_a, \quad (2.1)$$

де $K_D = 0,705$ - коефіцієнт, який характеризує відношення внутрішніх та зовнішніх діаметрів осердь статорів АД [1]; $D_a = 0,21$ - зовнішній діаметр статора [1], м; $D = 0,148$ м.

Полюсна поділка

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot \rho'} \quad (2.2)$$

$$\tau = 0,078 \text{ м.}$$

Розрахункова потужність

$$P' = \frac{P_2 \cdot \kappa_E}{\eta \cdot \cos \varphi'} \quad (2.3)$$

де $\kappa_E = 0,955$ – відношення ЕРС обмотки статора до номінальної напруги;
 η та $\cos \varphi$ – попередні значення ККД та коефіцієнта потужності, 0,7 та 0,73 відповідно;

$$P' = 6541.096 \text{ Вт.}$$

Розрахунок коефіцієнта полюсного перекриття та коефіцієнта форми поля відповідно [9]:

$$\alpha_\delta = \frac{2}{\pi} \quad (2.4)$$

$$\alpha_\delta = 0,637$$

$$\kappa_B = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \quad (2.5)$$

$$\kappa_B = 1,111$$

Кутова швидкість обертання поля статора

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_1}{60}, \quad (2.6)$$

$$\Omega = 104,72 \text{ рад.}$$

Розрахункова довжина повітряного зазору

$$l_{\delta} = \frac{P'}{D^2 \cdot \Omega \cdot \kappa_B \cdot \kappa_{об1} \cdot A \cdot B_{\delta}}, \quad (2.7)$$

де $\kappa_{об1} = 0,89$ - обмотувальний коефіцієнт [1] стр. 167;

$A = 27 \cdot 10^3$ - лінійне навантаження, А\м, [1];

B_{δ} - індукція повітряного зазора, Тл, [1].

$$l_{\delta} = 0,115 \text{ м.}$$

Відношення довжини повітряного зазору до полюсної поділки

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau}, \quad (2.8)$$

$$\lambda = 1,481.$$

Отримане значення λ знаходиться у рекомендованому діапазоні значень, а саме у межах від 1,1 до 1,6 [1].

2.2 Розрахунок обмотки статора

У процесі розрахунку доцільно не обмежуватися вибором якої-небудь однієї конкретної зубцевої поділки, а розглянути діапазон можливих значень t , у межах вказаного значення зубцкових поділок $t_{1\min} - t_{1\max}$

Діапазон кількості пазів статора

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1\max}}, \quad (2.9)$$

$$Z_{1\min} = 51,679$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1\min}}, \quad (2.10)$$

$$Z_{1\max} = 25,84$$

де $t_{1\max} = 0,009$ - максимальне значення зубцевої поділки з діапазона [1];

$t_{1\min} = 0,018$ - мінімальне значення зубцевої поділки з діапазона [1];

Приймається $Z_1 = 36$ пазів. Тоді кількість пазів на полюс і фазу рівна

$$q = \frac{Z_1}{2 \cdot \rho \cdot m'} \quad (2.11)$$

$$q = 2$$

Уточнене значення зубцевої поділки статора

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot \rho \cdot m \cdot q'} \quad (2.12)$$

$$t_1 = 0,013 \text{ м.}$$

Номінальний струм обмотки статора (попередньо)

$$I_{1H} = \frac{P_2}{m \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (2.13)$$

$$I_{1H} = 10,378 \text{ А.}$$

Число ефективних провідників в пазу (попередньо, при умові, що $a=1$)

$$u'_{II} = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1II} \cdot Z_1}, \quad (2.14)$$

$$u'_{II} = 33,614$$

Якщо $a=1$ тоді:

$$u_{II} = \alpha \cdot u'_{II}, \quad (2.15)$$

$$u_{II} = 32.$$

Остаточне значення кількості витків в обмотці фази

$$w_1 = \frac{u_{II} \cdot Z_1}{2 \cdot \alpha \cdot m'}, \quad (2.16)$$

$$w_1 = 192 \text{ витків.}$$

Уточнене лінійне навантаження

$$A = \frac{2 \cdot I_{1H} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D}, \quad (2.17)$$

$$A = 2,57 \times 10^4 \frac{A}{m}$$

Остаточне значення магнітного потоку

$$\Phi = \frac{\kappa_E \cdot U_{1H}}{4 \cdot \kappa_B \cdot w_1 \cdot \kappa_{об1} \cdot f_1}, \quad (2.18)$$

$$\Phi = 5,535 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

Уточнене значення індукції у повітряному проміжку

$$B_\delta = \frac{\rho \cdot \Phi}{D \cdot l_\delta}, \quad (2.19)$$

$$B_\delta = 0,977 \text{ Тл.}$$

Значення A та B_δ знаходяться у припустимих межах [1].

Попереднє значення густини струму в обмотці статора

$$J_1 = \frac{AJ_1}{A}, \quad (2.20)$$

де $AJ_1 = 186 \cdot 10^9$ - значення рівня питомого теплового навантаження статора, А2/м3, [1];

$$J_1 = 7,24 \text{ А/мм}^2$$

Перетин ефективного провідника (попередньо)

$$q_{ef} = \frac{I_{1H}}{J_1}, \quad (2.21)$$

$$q_{ef} = 1,434 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

Переріз ефективного провідника

$$q_{ef} = \frac{q_{el}}{n_{el}} \quad (2.22)$$

$$q_{ef} = 1,434 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

Для подальшого розрахунку обираємо марку проводу ПЭТ-200 (3x1,25+2x1,32)/(3x1,351+2x1,423) з наступними параметрами:

Діаметр неізолюваного проводу: $d_{1el} = 1,25$ мм та $d_{2el} d_{2el} = 1,32$ мм

Діаметр ізолюваного проводу: $d_{1iz} = 1,33$ мм та $d_{2iz} = 1,422$ мм

Площа переріза проводів: $q_{1el} = 1,227$ мм² та $q_{2el} = 1,36$ мм²

Площа перетину проводу

$$q_{ef.c} = 3q_{1el} + 2 \cdot q_{2el} \quad (2.23)$$

$$q_{ef.c} = 1,227 \text{ мм}^2$$

Уточнена густина струму в обмотці статора

$$J_1 = \frac{I_{1H}}{\alpha \cdot q_{ef.c}} \quad (2.24)$$

$$J_1 = 8,458 \frac{A}{m}$$

2.3 Розрахунок розмірів зубцевої зони статора та повітряного проміжку

Осердя статора виконано із листів електротехнічної сталі марки 2013 товщиною 0,5 мм. Спосіб ізолювання листів – оксидування. Для даного двигуна

статор має овальний паз, для якого співвідношення розмірів забезпечують паралельність бічних граней зубців (рисунок 2.1).

Обирається попередньо допустима індукція в зубцях статора $B_{z1} = 1.95$ Тл та в ярмі статора $B_a = 1.25$ Тл. Коефіцієнт заповнення сталлю – $\kappa_c = 0,95$.

Ширина зубця

$$b_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_1}{B_{z1} \cdot \kappa_c}, \quad (2.25)$$

$$b_{z1} = 6,992 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Висота ярма статора

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{cm1} \cdot \kappa_c}, \quad (2.26)$$

$B_a = 1,9$ індукція у ярмі статора, Тл, (табл. 6-10) [1].

$$h_a = 0,013 \text{ м.}$$

Розміри паза у штампі

Висота паза магнітної системи статора

$$h_{nc} = \frac{Da - D}{2} - h_a, \quad (2.27)$$

$$h_{nc} = 0.018 \text{ м.}$$

Допустима ширина паза статора

$$b_{n1} = t_1 - b_{z1 \min} \quad (2.28)$$

$$b_{n1} = 5,927 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Більша ширина паза статора

$$b_{1c} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{nc})}{Z_1} - b_{z1}, \quad (2.29)$$

$$b_{1c} = 9.003 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Менша ширина паза статора

$$b_{2c} = \frac{\pi \cdot \left(D + 2 \cdot h_{usc} - \frac{b_{usc}}{1.732} \right) - z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \frac{\pi}{1.732}}, \quad (2.30)$$

де $h_{usc} = 0.5 \times 10^{-3}$ висота шліца пазу статора, м.

$b_{usc} = 3,0 \times 10^{-3}$ ширина шліца пазу статора, м.

$$b_{2c} = 6,23 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Ефективна висота паза магнітної системи ротора

$$h_{1c} = h_{ПС} - \left(h_{usc} + \frac{b_{2c} - b_{usc}}{2} \right), \quad (2.31)$$

$$h_{1c} = 0.0152 \text{ м.}$$

Висота клинової частини паза

$$h_k = \frac{b_2 - b_{\text{ш1}}}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad (2.32)$$

$$h_k = 0.8 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Розміри паза у просвіті з урахуванням допуску на збирання

$$b'_{1c} = b_{1c} - \Delta b_{nc}, \quad (2.33)$$

де Δb_{nc} - припуск по ширині паза, м [1],

$$b'_{1c} = 0.0081 \text{ м,}$$

$$b'_{2c} = b_{2c} - \Delta b_{nc}, \quad (2.34)$$

$$b_{2c} = 0.0067 \text{ м.}$$

$$h'_{1c} = h_{1c} - \Delta h_{nc}, \quad (2.35)$$

$$h'_{1c} = 0.016 \text{ м.}$$

Площа поперечного перетину корпусної ізоляції в пазу

$$S_{i3} = b_{i3} \cdot (2 \cdot h_{\text{ш1}} + b_1 + b_2), \quad (2.36)$$

де $b_{i3} = 0.25 \times 10^{-3}$ - одностороння товщина ізоляції в пазу, м, [1]

$$S_{i3} = 1.7584 \times 10^{-5} \text{ м}^2$$

Площа поперечного перетину прокладок при двошаровій обмотці

$$S_{\Pi p} = 0,4 \cdot b_{1c} + 0,9 \cdot b_{2c}, \quad (2.37)$$

$$S_{\Pi p} = 9.7 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

Площа поперечного перетину паза для розташування провідників

$$S'_{\Pi} = \frac{b'_{1c} + b'_{2c}}{2} \cdot h'_{1c} - S_{i3} - S_{\Pi p}, \quad (2.38)$$

$$S'_{\Pi} = 9,512 \times 10^{-5} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт заповнення паза (має бути в межах від 0,72 до 0,75 для ручної укладки)

$$K_3 = \frac{d_{1i3}^2 u_{\Pi n_{el}}}{S'_{\Pi}} + \frac{d_{2i3}^2 u_{\Pi n_{el}}}{S'_{\Pi}}, \quad (2.39)$$

$$K_3 = 0.595$$

2.4 Розрахунок зубцевої зони та обмотки фазного ротора

Зовнішній діаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta, \quad (2.40)$$

де $\delta = 0.4 \times 10^{-3}$ - повітряний зазор, м, (рис. 6-21) [1]

$$D_2 = 0.147 \text{ м.}$$

Кількість витків фази обмотки ротора (приблизно) при з'єднанні у "зірку"

$$\omega_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}U_{1n}} \omega_1, \quad (2.41)$$

де $U_2 = 176$ - напруга на контактних кільцях у пусковому режимі, В.

$$\omega_2 = 88.681$$

Кількість пазів на полюс

$$q_2 = q_1 - 1, \quad (2.42)$$

$$q_2 = 1.5$$

Кількість ефективних провідників в пазу ротора

$$u'_{II} = \frac{\omega_2 \cdot a_p}{p \cdot q_2}, \quad (2.43)$$

де $a_p = 1$ - кількість паралельних гілок двошарової петлевої обмотки ротора

$$u'_{II} = 19.707$$

$$u'_{II} = 22$$

Кількість пазів фазного ротора

$$Z_2 = \frac{Z_1 \cdot q_2}{q_1}, \quad (2.44)$$

$$Z_2 = 27$$

Зубцева поділка ротора

$$t_2 = \frac{\pi D_2}{Z_2}, \quad (2.45)$$

$$t_2 = 0.017$$

Кількість витків в обмотці ротора

$$\omega_2 = \frac{u'_{II} \cdot p \cdot q_2}{a_p}, \quad (2.46)$$

$$\omega_2 = 99$$

Напруга на кільцях ротора

$$U_k = U_{1n} \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad (2.47)$$

$$U_k = 113.438 \text{ В}$$

Обмотувальний коефіцієнт для обмотки ротора

$$k_{o\delta 2} = \frac{0,5}{q_2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot m \cdot q_2}\right)}, \quad (2.48)$$

$$k_{o\delta 2} = 0.975$$

Коефіцієнт приведення струмів для фазного ротора

$$v_i = \frac{m \cdot \omega_1 \cdot k_{o\delta 1}}{m \cdot \omega_2 \cdot k_{o\delta 2}}, \quad (2.49)$$

$$v_i = 1,771$$

Попереднє значення струму в обмотці фазного ротора

$$I_2 = k_i \cdot I_{1n} \cdot v_i, \quad (2.50)$$

де $k_i = 0.73$ - коефіцієнт, що враховує вплив струму намагнічування, [1]

$$I_2 = 13.417 \text{ А}$$

Попередній переріз провідників обмотки ротора.

Попередній переріз ефективних провідників

$$q_{ef.p} = \frac{I_2}{a_p \cdot J_2}, \quad (2.51)$$

де $J_2 = 8$ - допустиме значення щільності струма, А/мм²

$$q_{ef.p} = 1.677 \text{ мм}^2$$

Попередній переріз елементарних провідників

$$q_{ел} = \frac{q_{ef.p}}{n_{ел.p}}, \quad (2.52)$$

де $n_{ел.p} = 2$ - кількість елементарних провідників обмотки ротора

$$q_{ел} = 0.839 \text{ мм}^2$$

Для подальшого розрахунку обираємо марку провіда ПЭТ-200 (2x1,32+2x1,4)/(2x1,423+2x1,506) з наступними параметрами:

Діаметр неізолюваного проводу: $d_{1ел} = 1.12$ мм та $d_{2ел} = 0$ мм

Діаметр ізолюваного проводу: $d_{1із} = 1.2$ мм та $d_{2із} = 0$ мм

Площа перетину проводів: $q_{1ел} = 0.985$ мм² та $q_{2ел} = 0$ мм²

Площа перетину провода

$$q_{ef.p} = 2q_{1ел.p} + 2q_{2ел.p}, \quad (2.53)$$

$$q_{ef.p} = 1.97 \text{ мм}^2$$

Остаточне значення щільності струму в обмотці ротора

$$J_2 = \frac{I_2}{a_p \cdot q_{ef.p}} \quad (2.54)$$

$$J_2 = 6.811 \text{ А/мм}^2$$

Внутрішній діаметр осердя ротора D_j .

Внутрішній діаметр осердя ротора D_j при безпосередній посадці на вал дорівнює діаметру вала D_B та може бути визначеним як:

$$D_j = D_B = k_B \cdot D_a, \quad (2.55)$$

де $k_B = 0.26$ - коефіцієнт для розрахунку валу АД, [1];

$$D_B = 0,48 \text{ м.}$$

$$D_j = D_B$$

Ширина зубців паза ротора

$$b_{z2} = \frac{B_\delta \cdot t_{21\delta}}{B_{z2} \cdot 1_\delta \cdot k_c}, \quad (2.56)$$

де $B_{z2} = 1.95$ - допустима індукція в зубцях осердя ротора, Тл, (табл. 6-10)
[1]

$$b_{z2} = 8,077 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Розміри паза осердя ротора (рис. 2.1)

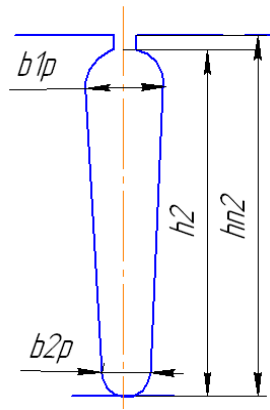


Рисунок 2.1 - Розміри паза ротора

Найбільша ширина (на верхній ділянці) паза осердя ротора:

$$b_{1p} = \frac{\pi(D_2 - 2 \cdot h_{III2}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{\pi + Z_2} \quad (2.57)$$

де $h_{III2} = 0.5 \cdot 10^{-3}$ - висота шліца паза ротора, м

$$b_{1p} = 8.2 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Найменша ширина (на нижній ділянці) паза кістяка ротора.

Ширина зубця на нижній ділянці визначається з припустимої індукції в зубцях ротора (табл. 6-10) [1]

Виходячи з рекомендацій (сталість ширини зубців ротора), приймаємо:

$$b_{1p} = 4.3 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Висота паза осердя ротора

$$h_2 = (b_{1p} - b_{2p}) \cdot \frac{Z_2}{2\pi} \quad (2.58)$$

$$h_2 = 0.017 \text{ м.}$$

Ефективна висота паза кістяка ротора

$$h_{II2} = h_{III2} + \frac{b_{1p}}{2} + h_2 + \frac{b_{2p}}{2} \quad (2.59)$$

$$h_{II2} = 0.023 \text{ м.}$$

Висота зубця ротора

$$h_{Z2} = h_{II2} - 0.1 \cdot b_{2p} \quad (2.60)$$

$$h_{Z2} = 0.023 \text{ м.}$$

Перевірка індукції у найбільш вузькому місці зубця ротора.

Мінімальна ширина зуба паза ротора.

Приймаємо, що: $l_{CT2} = l_{CT1} + 0,005$, м

$$b_{z2 \min} = \pi \cdot \frac{D_2 - (2h_{II2} - b_{2p})}{Z_2} - b_{2p} \quad (2.61)$$

$$b_{z2 \min} = 7.981 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Індукція у найбільш вузькому місці зубця ротора

$$b_{z2 \max} = \frac{B_\delta \cdot t_2 \cdot l_\delta}{b_{z2 \min} \cdot k_c \cdot l_{CT2}} \quad (2.62)$$

де $l_{CT2} = 0,12$ - довжина осердя ротора, м

$$b_{z2max} = 2,377 \text{ Тл}$$

Перевірка індукції у найбільш широкому місці зубця ротора.

Максимальна ширина зуба паза ротора:

$$b_{z2max} = \pi \frac{D_2 - (2h_{III2} - b_{1p})}{Z_2} - b_{1p} \quad (2.63)$$

$$b_{z2max} = 9,771 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Індукція у найбільш широкому місці зубця ротора:

$$b_{z2min} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_{\delta}}{b_{z2max} \cdot k_c \cdot l_{CT2}} \quad (2.64)$$

$$b_{z2min} = 1,026 \text{ Тл}$$

2.5 Розрахунок магнітного кола

Розрахунок магнітного ланцюга виконують для режиму холостого ходу, при якому АД характерно відносно сильне насичення сталі зубців статора та ротора.

Середнє значення індукції у зубцях статора:

$$b_{z1cp} = \frac{B_{z1} + B_{z2}}{2}, \quad (2.65)$$

$$b_{z1cp} = 1.62 \text{ Тл}$$

Середнє значення індукції у зубцях ротора

$$b_{z2cp} = \frac{B_{z1} + B_{z2}}{2} \quad (2.66)$$

$$b_{z2cp} = 2.291 \text{ Тл}$$

Індукція в осерді статора (уточнююча).

Для розрахунку індукції спочатку необхідно визначити розрахункову висоту осердя статора:

$$h_a = \frac{D_a - D}{2} - h_{П1} - \frac{2}{3} \cdot dk_1 \cdot mk_1 \quad (2.67)$$

де $dk_1 = 0$ - діаметр аксіальних вентиляційних каналів в статорі, м;

$mk_1 = 0$ - кількість рядів аксіальних вентиляційних каналів в статорі, м.

$$h_a = 0.013 \text{ м.}$$

Індукція в осерді статора:

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot l_{CT1} \cdot k_c}, \quad (2.68)$$

$$B_a = 1.861 \text{ Тл.}$$

Так як висота вісі обертання 112 мм, виконуються аксіальні канали в роторі

для покращення умов охолодження. Діаметр аксіальних каналів $d_{k2} = 0$ мм, число рядів аксіальних каналів ротора $m_{k2} = 0$. Розрахункова висота ярма ротора

$$h'_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{П2} - \frac{2}{3} \cdot d_{k2} \cdot m_{k2}, \quad (2.69)$$

$$h'_j = 0.027 \text{ м.}$$

Індукція в ярмі ротора:

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h'_j \cdot l_{СТ2} \cdot k_c}, \quad (2.70)$$

$$B_j = 0.894 \text{ Тл.}$$

Магнітна напруга повітряного зазору.

Для визначення магнітної напруги у повітряному зазорі необхідно визначити коефіцієнти Картера для зубців статора та ротора, які враховують нерівномірності, які знаходяться на їх поверхні. При цьому у першому випадку передбачається, що поверхня статора зубчаста, а ротора гладка, а у іншому випадку - навпаки.

Коефіцієнт Картера для зубців статора:

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \cdot \delta'} \quad (2.71)$$

де γ – коефіцієнт геометрії паза статора;

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{b_{ШС}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{ШС}}{\delta}}, \quad (2.72)$$

$$\gamma_1 = 4.5$$

Коефіцієнт Картера для зубців ротора:

$$k_{\delta 2} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma_1 \cdot \delta'} \quad (2.75)$$

де γ – коефіцієнт геометрії паза ротора;

$$\gamma_2 = \frac{\left(\frac{b_{ШС}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{ШС}}{\delta}} \quad (2.76)$$

$$\gamma_2 = 4.5$$

Результуючий коефіцієнт повітряного зазору машини:

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} \quad (2.77)$$

$$k_{\delta} = 1.298$$

Магніторушійна сила у повітряному зазорі

$$F_{\delta} = 1.59 \cdot 10^6 \cdot B_{\delta} \cdot k_{\delta} \cdot \delta, \quad (2.78)$$

$$F_{\delta} = 806.623 \text{ A}$$

Напруженість магнітного поля в зубцях статора

$$H_{z1} = \frac{(H_{z1\max} + H_{z1\min} + 4 \cdot H_{z1cp})}{6} \quad (2.79)$$

де: $H_{z1\max} = 4160$ - найбільша напруженість поля зони статора, А/м при

$B_{z1\max} = 1.9$ Тл, марка сталі 2212, (додаток 20) [1];

$H_{z1\min} = 790$ - найменша напруженість поля зони статора, А/м при

$B_{z1\min} = 1.34$ Тл, марка сталі 2212, (додаток20) [1];

$H_{z1cp} = 1530$ - середня напруженість поля зони статора, А/м при

$B_{z1cp} = 1.62$ Тл, маркасталі 2212, (додаток20) [1];

$$H_{z1} = 1.845 \times 10^3 \text{ А/м.}$$

Магнітна напруга зубцевої зони статора:

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1}, \quad (2.80)$$

де h_{z1} - висота зубця статора;

$$F_{z1} = 65,019 \text{ A}$$

Напруженість магнітного поля в зубцях ротора:

$$H_{z2} = \frac{(H_{z2\max} + H_{z2\min} + 4 \cdot H_{z2cp})}{6} \quad (2.81)$$

де: $H_{z2\max} = 3553$ - найбільша напруженість поля зони статора, А/м;

$B_{z2\max} = 3.377$ Тл, марка сталі 2212, (додаток 20) [1];

$H_{z2\min} = 11000$ - найменша напруженість поля зони статора, А/м при

$B_{z2\min} = 1.026$ Тл, марка сталі 2212, (додаток20) [1];

$H_{z2cp} = 593$ - середня напруженість поля зони статора, А/м при

$B_{z2cp} = 2.291$ Тл, марка сталі 2212, (додаток20) [1];

$$H_{z2} = 2.821 \times 10^3 \text{ А/м.}$$

Магнітна напруга зубцевої зони ротора:

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2}, \quad (2.82)$$

де h_{z2} – висота зубця ротора;

$$F_{z2} = 80.123 \text{ А.}$$

Коефіцієнт насичення зубцевої зони (має бути в межах від 1,2 до 1,5):

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta}, \quad (2.83)$$

$$k_z = 1.18$$

Довжина середньої магнітної лінії ярма статора:

$$L_a = \frac{\pi(D_a - h_a) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot p}, \quad (2.84)$$

$$L_a = 1.03 \times 10^{-4} \text{ м.}$$

Довжина середньої магнітної лінії ярма ротора:

$$L_j = \frac{\pi(D_B - h_j)}{2 \cdot p}, \quad (2.85)$$

$$L_j = 0.039 \text{ м.}$$

Магнітна напруга ярма статора:

$$F_a = L_a \cdot H_a, \quad (2.86)$$

$$F_a = 0.428 \text{ А.}$$

Магнітна напруга ярма ротора:

$$F_j = L_j \cdot H_j, \quad (2.87)$$

$$F_j = 12.738 \text{ А.}$$

Магнітна напруга на пару полюсів:

$$F_{\Sigma} = F_{\delta} + F_{Z1} + F_{Z2} + F_a + F_j, \quad (2.88)$$

$$F_{\Pi} = 964.932 \text{ A.}$$

Коефіцієнт насичення магнітного кола:

$$k_{\mu} = \frac{F_{\Pi}}{F_{\delta}}, \quad (2.89)$$

$$k_{\mu} = 1.196$$

Намагнічуючий струм:

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F_{\Pi}}{0,9 \cdot m \cdot \omega_1 \cdot k_{об1}}, \quad (2.90)$$

$$I_{\mu} = 6.274 \text{ A.}$$

Відносне значення намагнічуючого струму (має бути в межах від 0,2 до 0,35):

$$I'_{\mu} = \frac{I_{\mu}}{I_{1H}}, \quad (2.91)$$

$$I'_{\mu} = 0.605 \%$$

2.6 Параметри АД для номінального режиму

Параметрами асинхронної машини є активні та індуктивні опори обмоток статора і ротора, а також опір взаємної індуктивності й розрахунковий опір r_{12} або r_{μ} , введенням якого враховується вплив втрат у сталі статора на характеристики двигуна. Схема заміщення фази обмотки наведеної асинхронної машини показана на рис. 2.3.

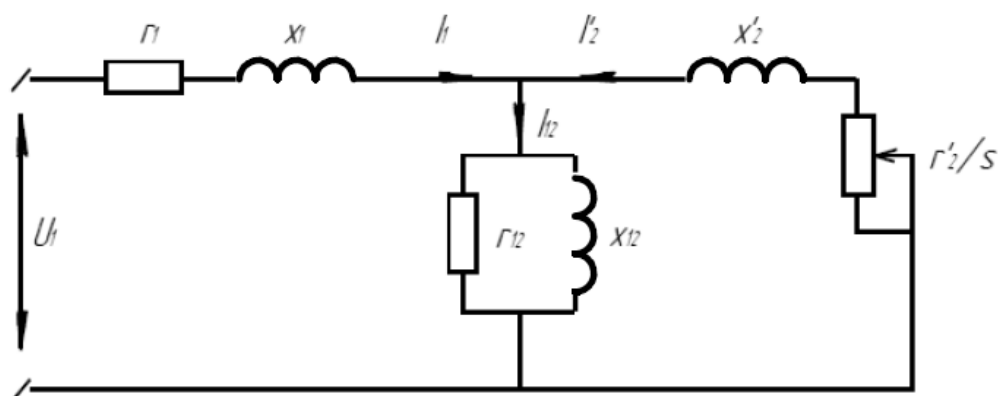


Рисунок 2.3 – Т-подібна схема заміщення фази обмотки приведенної асинхронної машини

Коефіцієнти, що залежать від числа полюсів машини $2p=8$ і наявності ізоляції в лобових частинах (ізоляція відсутня): $K_L=1,76$, $K_{вил}=0,72$. Довжина вильоту прямолінійної частини котушок із паза від торця сердечника до початку відгину лобової частини $B=0,01$ м. Відносне укорочення кроку обмотки статора $\beta=0,788$.

Середня довжина котушки:

$$b_{KT} = \frac{\pi \cdot (D + h_{ПС})}{2 \cdot p} \cdot \beta_1, \quad (2.92)$$

$$b_{KT} = 0,06 \text{ м.}$$

Довжина лобової частини витка:

$$l_{Л1} = K_{Л} \cdot b_{КТ} + 2 \cdot B, \quad (2.93)$$

де $K_{Л}$ - коефіцієнт лобової частини обмотки статора (табл. 6-12) [1];

$B=0,01$ довжина вильоту прямокутної частини катушки з пазу від торця осердя до початку вигину лобової частини обмотки статора.

$$l_{Л1} = 0.127 \text{ м.}$$

Середня довжина витка фази обмотки

$$l_{ср1} = 2 \cdot (l_{П1} + l_{Л1}), \quad (2.94)$$

$$l_{ср1} = 0.483 \text{ м.}$$

Довжина провідників фази обмотки:

$$L_1 = l_{ср1} \cdot \omega_1, \quad (2.95)$$

$$L_1 = 92.75 \text{ м.}$$

Довжина вильоту лобових частин обмотки:

$$l_{вил} = K_{вил} \cdot b_{КТ} + B \cdot 0,05 \cdot 0,018, \quad (2.96)$$

$$l_{вил} = 0,058 \text{ м.}$$

Активний опір фази обмотки статора:

$$r_1 = \rho_{\text{мідь}115} \cdot \frac{L_1}{q_{\text{эф.с}} \cdot 10^{-6} \cdot a}, \quad (2.97)$$

де $\rho_{\text{мідь}115} = \frac{10^{-6}}{41}$ – питомий опір міді при 115°C, Ом м (табл. 4-1) [1];

$$r_1 = 1.844 \text{ Ом.}$$

Відносне значення опору:

$$r'_1 = r_1 \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}}, \quad (2.98)$$

$$r'_1 = 0.087$$

Середня ширина котушки обмотки ротора (обумовлена по дугі окружності, минаючій по середнім висотам пазів):

$$b_{KT2} = \frac{\pi(D_2 - h_{П2} \cdot 10^{-3})}{2p} \cdot \beta_2, \quad (2.99)$$

де $\beta_2 = 1$ - відносне скорочення кроку обмотки ротора;

$$b_{KT2} = 0,077 \text{ м.}$$

Довжина лобової частини обмотки ротора:

$$l_{Л2} = K_{Л2} \cdot b_{KT2} + 2B_2, \quad (2.100)$$

де $K_{л2}=1.323$ - коефіцієнт лобової частини обмотки ротора [1];

$B2=0.01$ - довжини вильоту прямолінійної частини котушек з пазу від торця осердя до початку відгину лобової частини обмотки ротора.

$$l_{Л2} = 0.122 \text{ м.}$$

Середня довжина вітка обмотки ротора:

$$l_{CP2} = 2(l_{П2} + l_{Л2}), \quad (2.101)$$

$$l_{CP2} = 0.484 \text{ м.}$$

Загальна довжина ефективних провідників фази обмотки ротора:

$$L_2 = \omega_2 \cdot l_{cp2}, \quad (2.102)$$

$$L_2 = 47.875 \text{ м.}$$

Активний опір обмотки ротора:

$$r_2 = \delta_{115} \cdot \frac{L_2}{q_{ef.p} \cdot 10^{-6} \cdot a_p}, \quad (2.103)$$

$$r_2 = 0.593 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт приведення опорів

$$v_{12} = \frac{(\omega_1 \cdot k_{об1})^2}{(\omega_2 \cdot k_{об2})^2}, \quad (2.104)$$

$$v_{12} = 3.137$$

Приведення активного опору обмотки ротора до кількості витків первинної обмотки:

$$r_2' = v_{12} \cdot r_2, \quad (2.105)$$

$$r_2' = 1.859 \text{ Ом.}$$

Відносне значення опору фази:

$$r_{2\text{відн}}' = r_2' \cdot \frac{I_{1n}}{U_{1n}}, \quad (2.106)$$

$$r_{2\text{відн}}' = 0.088 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнти до розрахунку провідності диференційного розсіювання:

$$k'_\beta = 0.25 \cdot (1 + 3 \cdot \beta_1), \quad (2.107)$$

$$k'_\beta = 0.833$$

$$k_\beta = 0.25 \cdot (1 + 3 \cdot k'_\beta), \quad (2.108)$$

$$k_\beta = 0.875$$

Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання статора.

Визначимо геометричні розміри паза для коефіцієнта магнітної провідності статора: $h_1=0.0008$, $h_2=0.002$, $h_3=0.018$, м.

$$\lambda_{\text{П1}} = \frac{h_3}{3 \cdot b'_2} \cdot k_\beta + \left(\frac{h_2}{b'_2} + \frac{3 \cdot h_1}{b_2 + 2 \cdot b_{\text{П1}}} + \frac{h_{\text{П1}}}{b_{\text{П1}}} \right) \cdot k'_\beta, \quad (2.109)$$

$$\lambda_{\text{П1}} = 1.327$$

Коефіцієнт магнітної провідності лобового розсіювання статора

Приймемо, що $l'_\delta = l_\delta$.

$$\lambda_{\text{Л1}} = 0,34 \cdot \frac{q_1}{l'_\delta} \cdot (l_{\text{Л1}} - 0,64 \cdot \beta_1 \cdot \tau) \quad (2.110)$$

$$\lambda_{\text{Л1}} = 0,522$$

Значення коефіцієнта ξ , який залежить від від числа q , скорочення кроку й розмірних співвідношень зубцевих зон та повітряного зазору

$$\xi_1 = k_1'' \cdot q_1^2 + 2 \cdot k'_\beta - k_{\text{об1}}^2 \cdot (1 + \Delta_{\text{Z1}}), \quad (2.111)$$

де $k_1''=0.003$, $\Delta_{\text{Z1}}=0.1$ - коефіцієнти які визначаються з кривих [1].

$$\xi_1 = 0.807$$

Коефіцієнт магнітної провідності диференційного розсіювання статора

$$\lambda_{Д1} = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi_1, \quad (2.112)$$

$$\lambda_{Д1} = 1.674$$

Індуктивний опір обмотки статора

$$X_1 = 15.8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{\omega_1}{100} \right)^2 \cdot \frac{l_\delta}{p \cdot q_1} \cdot (\lambda_{П1} + \lambda_{Л1} + \lambda_{Д1}) \quad (2.113)$$

$$X_1 = 1,963 \text{ Ом.}$$

Відносне значення індуктивного опору фази

$$X'_1 = X_1 \cdot \frac{I_{1n}}{U_{1n}} \quad (2.114)$$

$$X'_1 = 0.093$$

Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання ротора.

Визначимо геометричні розміри паза для коефіцієнта магнітної провідності ротора (рис 2.4): $h_2=0,001$, $h_3=0,021$, м.

Коефіцієнти для розрахунку провідності дифірінційного розсіювання ротора дорівнюють: $k_{\beta 2}=1$, $k'_{\beta 2}=1$

$$\lambda_{П2} = \frac{h_3}{3 \cdot b_{1p}} \cdot k_{\beta 2} + \left(0.785 - \frac{b_{Ш2}}{2 \cdot b_{1p}} + \frac{h_2}{b_{1p}} + \frac{h_{Ш2}}{b_{Ш2}} \right) \cdot k'_{\beta 2} \quad (2.115)$$

$$\lambda_{П2} = 1.866$$

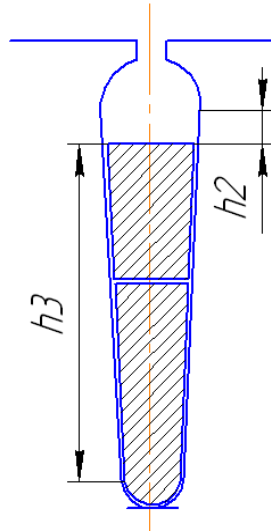


Рисунок 2.4 - До розрахунку коефіцієнтів магнітної провідності паза ротора

Коефіцієнт магнітної провідності лобового розсіювання ротора

$$\lambda_{L2} = 0,34 \cdot \frac{q_2}{l_\delta} \cdot (l_{L2} - 0,64 \cdot \beta_2 \cdot \tau) \quad (2.116)$$

$$\lambda_{L2} = 0,322$$

Значення коефіцієнта ξ , який залежить від від числа q , скорочення кроку й розмірних співвідношин зубцевих зон та повітряного зазора

$$\xi_2 = 2 + 0,022 \cdot q^2_2 - k_{o\delta 2}^2 \cdot (1 + \Delta_{Z2}) \quad (2.117)$$

де $\Delta_{Z2} = 0,06$ - коефіцієнт який визначаються з кривих (рис. 6-39) [1].

$$\xi_2 = 1,043$$

Коефіцієнт магнітної провідності диференційного розсіювання ротора:

$$\lambda_{Д2} = \frac{t_2}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi_2 \quad (2.118)$$

$$\lambda_{Д2} = 2.867$$

Індуктивний опір обмотки ротора:

$$x_2 = 15.8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{\omega_2}{100} \right)^2 \cdot \frac{l_\delta}{p \cdot q_2} \cdot (\lambda_{П2} + \lambda_{Л2} + \lambda_{Д2}) \quad (2.119)$$

$$x_2 = 0,998 \text{ Ом.}$$

Відносне значення індуктивного опору фази.

Приводимо x_2 к кількості витків статора:

$$x'_2 = x_2 \cdot \nu_{12} \quad (2.120)$$

$$x'_2 = 3.132 \text{ Ом.}$$

$$x'_{2\text{відн}} = x'_2 \cdot \frac{I_{1n}}{U_{1n}} \quad (2.121)$$

$$x'_{2\text{відн}} = 0.148$$

Значення індуктивних параметрів, які приведені у відносних одиницях.

Для зручності зіставлення параметрів окремих машин і спрощення розрахунку характеристик параметри АД виражають у відносних одиницях, приймаючи за базове значення номінальну фазну напругу та номінальний фазний струм статора:

$$x'_{12} = \frac{U_{1n}}{I_{\mu}} - x_1 \quad (2.122)$$

$$x'_{12} = 33.1 \text{ Ом.}$$

$$x_{12\text{відн}} = x_{12} \cdot \frac{I_{1n}}{U_{1n}} \quad (2.123)$$

$$x_{12\text{відн}} = 1.561$$

2.7 Розрахунок втрат

Маса сталі ярма статора

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot l_{CT1} \cdot k_c \cdot \gamma_c, \quad (2.124)$$

де γ_c - питома маса сталі, кг/м³

$$m_a = 7.166 \text{ кг}$$

Маса сталі зубців статора.

Визначимо середню ширину зубця пластини статора:

$$b_{Z1cp} = \frac{b_{Z1\min} + b_{Z1\max}}{2} \quad (2.125)$$

$$b_{Z1cp} = 8.446 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

$$m_{Z1} = h_{Z1} \cdot b_{Z1cp} \cdot Z_1 \cdot l_{CT1} \cdot k_c \cdot \gamma_c, \quad (2.126)$$

$$m_{Z1} = 4.654 \text{ кг.}$$

Питомі втрати $p_{1,0/5,0}=2,2$ Вт/кг. Показник ступеня $\beta = 1,5$. Основні втрати в сталі:

$$P_{CT.осн} = p_{1,0} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^\beta \cdot \left(k_{Da} \cdot B_a^2 \cdot m_a + k_{ДZ} \cdot B_{Z1}^2 \cdot m_{Z1}\right), \quad (2.127)$$

де $p_{1,0} = 2,2$ - питомі втрати Вт/кг (табл. 6-24) [1];

$k_{Da} = 1.6$, $k_{ДZ} = 1.8$, коефіцієнти що враховують вплив на втрати в сталі нерівномірності розподілу потоку по перетину діляниць магнітопроводу та технологічних факторів;

$\beta = 1,5$ - показник ступеню (табл. 6-24) [1].

$$P_{CT.осн} = 153.876 \text{ Вт}$$

Амплітуда пульсації індукції у повітряному зазорі над коронками зубців статора:

$$B_{01} = \beta_{01} \cdot k_\delta \cdot B_\delta, \quad (2.128)$$

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot k_\delta \cdot B_\delta, \quad (2.129)$$

де $B_{01} = 0.03$ - коефіцієнт (для зубців статора) відношення ширини шлиця пазів ротора до повітряного зазору, [1];

$B_{02} = 0.03$ - коефіцієнт (для зубців ротора) відношення ширини шлиця пазів

статора до повітряного зазору, [1].

$$B_{01} = 0.038 \text{ Тл.}$$

$$B_{02} = 0.038 \text{ Тл.}$$

Коефіцієнт, що враховує вплив обробки поверхні голівок зубців ротора на питомі втрати. $k_{01}=k_{02}=1,7$. Питомі поверхневі втрати для статора і ротора відповідно:

$$P_{ПОВ1} = 0,5 \cdot k_{o1} \cdot \left(\frac{Z_2 \cdot n_1}{10000} \right)^{1.5} \cdot (B_{01} \cdot t_2 \cdot 10^3)^2, \quad (2.130)$$

$$P_{ПОВ1} = 0,011 \text{ Вт/м}^2.$$

$$P_{ПОВ2} = 0,5 \cdot k_{o2} \cdot \left(\frac{Z_2 \cdot n_1}{10000} \right)^{1.5} \cdot (B_{02} \cdot t_2 \cdot 10^3)^2, \quad (2.131)$$

$$P_{ПОВ2} = 0,0065 \text{ Вт/м}^2.$$

Поверхневі втрати в роторі:

$$P_{ПОВ1} = P_{ПОВ1} \cdot (t_1 - b_{ШР}) \cdot Z_1 \cdot l_{СТ1}, \quad (2.132)$$

$$P_{ПОВ1} = 4.683 \times 10^{-4} \text{ Вт.}$$

$$P_{ПОВ2} = P_{ПОВ2} \cdot (t_2 - b_{ШР}) \cdot Z_2 \cdot l_{СТ2}, \quad (2.133)$$

$$P_{ПОВ2} = 2,97 \times 10^{-4} \text{ Вт.}$$

Амплітуда пульсації індукції в середньому перетині зубців статора і ротора:

$$B_{\text{ПУЛ1}} = \frac{\gamma \cdot \delta}{2 \cdot t_1} \cdot B_{Z1}, \quad (2.134)$$

$$B_{\text{ПУЛ1}} = 0.113 \text{ Тл.}$$

$$B_{\text{ПУЛ2}} = \frac{\gamma \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{Z2}, \quad (2.135)$$

$$B_{\text{ПУЛ2}} = 0,12 \text{ Тл.}$$

Маса сталі зубців ротора:

$$b_{Z2cp} = \frac{b_{Z2 \min} + b_{Z2 \max}}{2} \quad (2.136)$$

$$b_{Z2cp} = 9.5 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

$$m_{Z2} = Z_2 \cdot h_{Z2} \cdot b_{Z2} \cdot l_{CT2} \cdot k_c \cdot \gamma_c, \quad (2.137)$$

$$m_{Z2} = 5,248 \text{ кг.}$$

Пульсаційні втрати в зубцях статора і ротора:

$$P_{\text{ПУЛ1}} = 0.11 \cdot \left(\frac{Z_2 \cdot n_1}{1000} \cdot B_{\text{ПУЛ1}} \right)^2 \cdot m_{Z1}, \quad (2.138)$$

$$P_{\text{ПУЛ1}} = 0.00652 \text{ Вт.}$$

$$P_{ПУЛ2} = 0.11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n_1}{1000} \cdot B_{ПУЛ2} \right)^2 \cdot m_{Z2}, \quad (2.139)$$

$$P_{ПУЛ2} = 10,837 \text{ Вт.}$$

Сума додаткових втрат у сталі:

$$P_{СТ.ДОД} = P_{ПОВ1} + P_{ПУЛ1} + P_{ПОВ2} + P_{ПУЛ2} \quad (2.140)$$

$$P_{СТ.ДОД} = 10,845 \text{ Вт.}$$

Повні втрати у сталі:

$$P_{СТ.} = P_{СТ.ОСН} + P_{СТ.ДОД}, \quad (2.141)$$

$$P_{СТ.} = 164,721 \text{ Вт.}$$

Механічні втрати (при $K_T=3.6$):

$$P_{МЕХ} = K_T \cdot \left(\frac{n_1}{1000} \right)^2 \cdot (10 \cdot D)^3, \quad (2.142)$$

$$P_{МЕХ} = 33.34 \text{ Вт.}$$

Загальна площа контактної поверхні всіх щіток:

$$S'_{щ} = \frac{I_2}{J_{Щ}} \quad (2.143)$$

де $J_{щ} = 15$ - щільність струму в щетке, А/см², (П-39) [1].

$$S'_{щ} = 0.894 \text{ см}^2$$

Загальна кількість щіток:

$$n_{щ} = \frac{S'_{щ} \cdot 10^{-4}}{b_{щ} \cdot l_{щ}} \quad (2.144)$$

де $b_{щ} = 0.01$, $l_{щ} = 0.02$ - геометричні розміри щіток, м, [1].

$$n_{щ} = 0.447$$

$$n_{щ} = 1$$

Уточнення щільності струму в щітках:

$$J_{щ} = \frac{I_2 \cdot 10^{-4}}{b_{щ} \cdot l_{щ} \cdot n_{щ}} \quad (2.145)$$

$$J_{щ} = 6.078 \text{ А/см}^2$$

Площа щіток на три кільця:

$$S_{щ} = b_{щ} \cdot l_{щ} \cdot n_{щ} \cdot m \quad (2.146)$$

$$S_{щ} = 6 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Лінійна швидкість кільця:

$$V_{KL} = \frac{\pi \cdot D_{KL} \cdot n_1}{60} \quad (2.147)$$

де $D_{KL}=0.05$ - діаметр кільця, м.

$$V_{KL} = 2.612 \text{ м/с}$$

Втрати на тертя щіток кільця:

$$P_{тр.щ} = k_{TP} \cdot \rho_{щ} \cdot S_{щ} \cdot V_{KL}, \quad (2.148)$$

$$P_{тр.щ} = 4.273 \text{ Вт.}$$

де $k_{mp}=0.16$ - коефіцієнт тертя [1];

$\rho_{щ}=17000$ - тиск щіток (притиск), Па, [1].

Додаткові втрати при номінальному режимі:

$$P_{дод.н} = 0.005 \cdot \frac{P_2}{\eta} \quad (2.149)$$

$$P_{дод.н} = 0.025 \text{ кВт.}$$

Електричні втрати у всіх фазах обмотки статора:

$$P_{el.HX} = m \cdot I_{1n}^2 \cdot r_1, \quad (2.150)$$

$$P_{e1.HX} = 678.495 \text{ Вт.}$$

Електричні втрати у всіх фазах обмотки ротора:

$$P'_{\Delta 2} = m \cdot I_2^2 \cdot r_2, \quad (2.151)$$

$$P'_{\Delta 2} = 320.103 \text{ Вт.}$$

Електричні втрати в щіточному контакті.

Прийmemo, що $I_{2k} = I_2$ при з'єднанні у зірку.

$$P'_{e_{щ}} = m \cdot \Delta U_{щ} \cdot I_{2k} \quad (2.152)$$

де $\Delta U_{щ} = I$ - падіння напруги у ковзному контакті щітка - кільце (для вугольних та графітних щіток), В [1].

$$P'_{e_{щ}} = 40,251 \text{ Вт.}$$

2.8 Розрахунок холостого ходу та робочих характеристик

Електричні втрати в статорі при ХХ:

$$P_{E1.XX} = 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 \quad (2.153)$$

$$P_{E1.XX} = 248,009 \text{ Вт.}$$

Активна складова струму неробочого ходу:

$$P_{XXA} = \frac{P_{CT} + P_{MEX} + P_{e1.HX}}{m \cdot U_{1H}} \quad (2.154)$$

$$P_{XXA} = 0,676 \text{ A}$$

Струм неробочого ходу двигуна:

$$I_{XX} = \sqrt{I_{XX.a}^2 + I_{\mu}^2}, \quad (2.155)$$

$$I_{XX} = 6,311 \text{ A.}$$

Коефіцієнт потужності при неробочому ході двигуна:

$$\cos \varphi_{XX} = \frac{I_{XX.a}}{I_{XX}}, \quad (2.156)$$

$$\cos \varphi_{XX} = 0.107 \text{ В.о.}$$

Значення активних та індуктивних параметрів (послідовно включені опори):

$$r_{12} = \frac{P_{CT.OCH}}{m \cdot I_{\mu}^2}, \quad (2.157)$$

$$r_{12} = 1,303 \text{ Ом.}$$

$$x_{12} = \frac{U_{1H}}{I_{\mu}} - x_1, \quad (2.158)$$

$$x_{12} = 33.1 \text{ Ом.}$$

Метод розрахунку характеристик базується на системі рівнянь струмів та напруг АД, якій відповідає Г - образна схема заміщення. Активні та індуктивні опори схеми заміщення являються параметрами АД.

Активна складова струму синхронного неробочого ходу:

$$I_{0a} = \frac{P_{ст.ущсн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_{1н}} \quad (2.159)$$

$$I_{0a} = 0,609 \text{ А.}$$

Реактивна складова струму:

$$I_{0p} = I_{\mu} \quad (2.160)$$

$$I_{0p} = 6.274 \text{ А.}$$

Сумарні втрати:

$$P_{свт} = (P_{СТ} + P_{МЕХ} + P_{тр.щ}) \cdot 10^{-3} \quad (2.161)$$

$$P_{свт} = 0,202 \text{ кВт.}$$

ККД асинхронного двигуна:

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma P_i}{P_{li}}, \quad (2.187)$$

$$\eta = 73\%$$

Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна:

$$\cos \varphi_i = \frac{I_{1ai}}{I_{li}}, \quad (2.188)$$

$$\cos \varphi_i = 0,75$$

3 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЖИМУ ПРОТИВМИКАННЯМ

Для дослідження електромагнітних процесів у системі імпульсного регулювання в колі ротора при реалізації системи противмиканням застосовувався АД, електромагнітні параметри якого розраховані у розділі 2.

3.1 Розробка імітаційної моделі системи асинхронного електроприводу для реалізації режиму противмиканням

Інноваційна схема імпульсного регулювання в колі випрямленого струму ротора поєднує в собі позитивні властивості класичної системи імпульсного регулювання та асинхронного вентильного каскаду (АВК) (рис.3.1)[1].

Реверс для даної системи імпульсного регулювання АД виконується між контактами К1-К3 і K_p і одночасним замиканням контактів К4, К5. Розмикання ключа K_p забезпечує введення додаткового резистора R_p , що дозволяє узгодити е.р.с. ротора АДФР і е.р.с. відомого мережею інвертора, а отже обмежити наростання випрямленого струму ротора в момент реверсу [1].

Для проведення дослідження електромагнітних процесів у системі імпульсного регулювання в колі випрямленого струму ротора розроблена структура імітаційної моделі комплексного дослідження асинхронного електроприводу на основі електромагнітних моделей АД з формуванням каналу керування в колі випрямленого струму ротора.

Імітаційна модель асинхронного електроприводу, представлена у вигляді підсистем моделей електромеханічного перетворювача на базі кранового асинхронного двигуна з фазним ротором, підсистеми моделі каналу регулювання в колі випрямленого струму ротора, підсистеми моделей випрямляча та інвертора,

підмоделі системи регулювання перетворювачем та підмоделі групи контакторів для забезпечення режиму протиповмикання [1, 14].

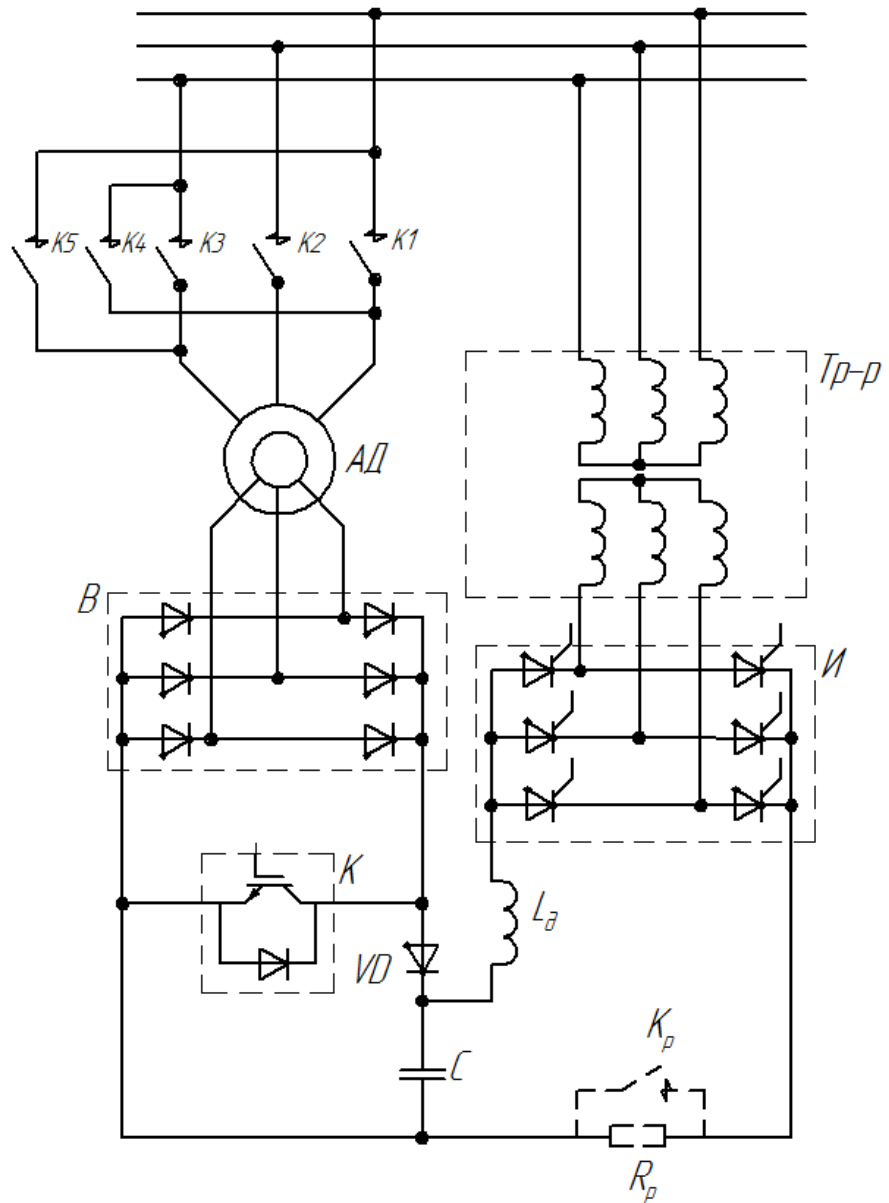


Рисунок 3.1 – Інноваційна система імпульсного регулювання в колі випрямленого струму ротора

На рис. 3.2 зображено структурні блоки математичної моделі (електромагнітний та механічний) асинхронного двигуна у дво-фазній системі координат, використовуючи загальноприйняті рівняння [1, 15].

Підсистема моделі кола випрямленого струму ротора включає в себе: блок некерованого випрямляча (В) (зображено на загальному рис.), виконаного у вигляді трифазного мостового діодного мосту, силового ключа (К), діоду (VD), конденсатору (С), блоку інвертора відомого мережею (І), представленого у вигляді трифазного тиристорного мосту [1, 10-12].

Розроблений блок імітаційної підмоделі реалізовано у системі програмного засобу MatLAB у середовищі Simulink.

На рис. 3.3 та рис. 3.4 зображено структурні блоки імітаційної моделі кола випрямленого струму ротора та блоку інвертора відомого мережею відповідно.

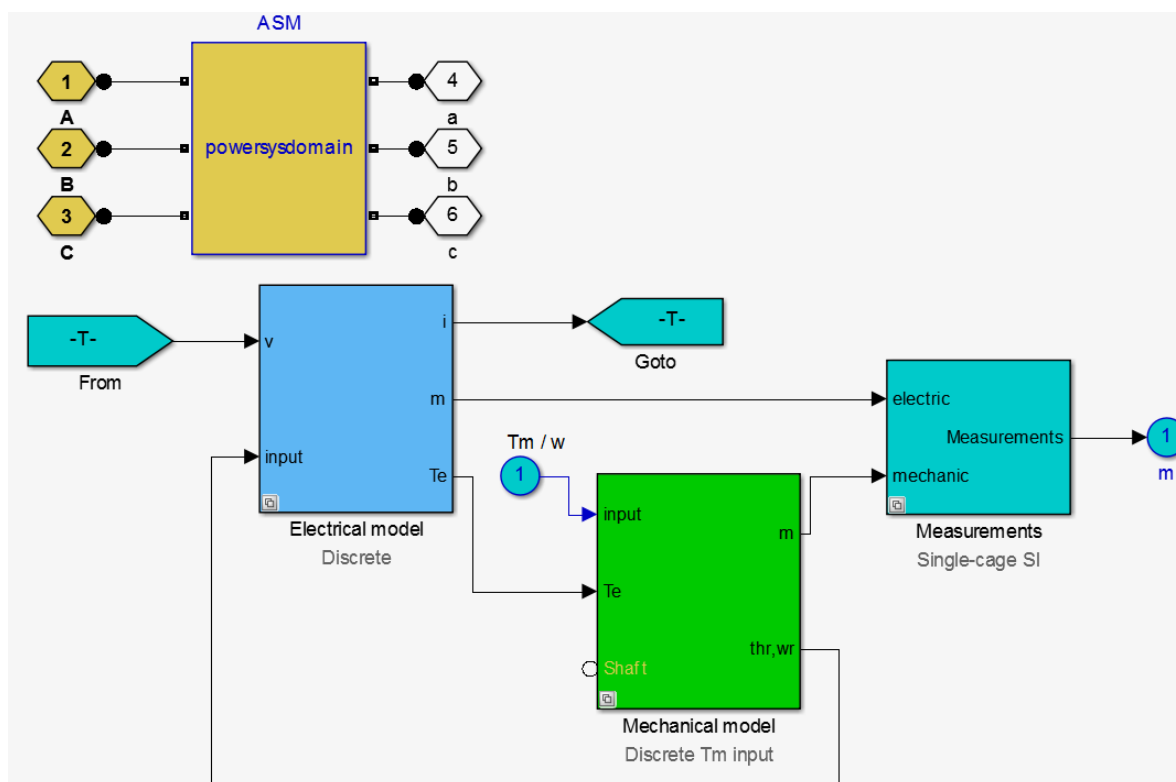


Рисунок 3.2 - Структурний блок математичної моделі асинхронного двигуна

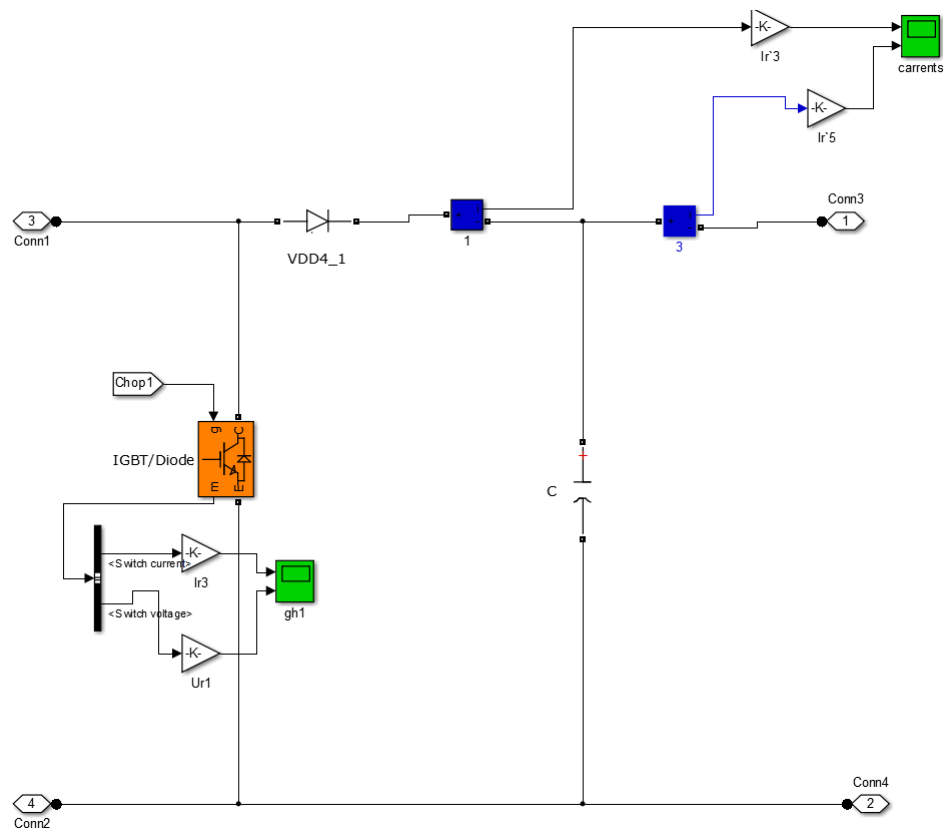


Рисунок 3.3 - Структурний блок імітаційної моделі кола випрямленого струму ротора

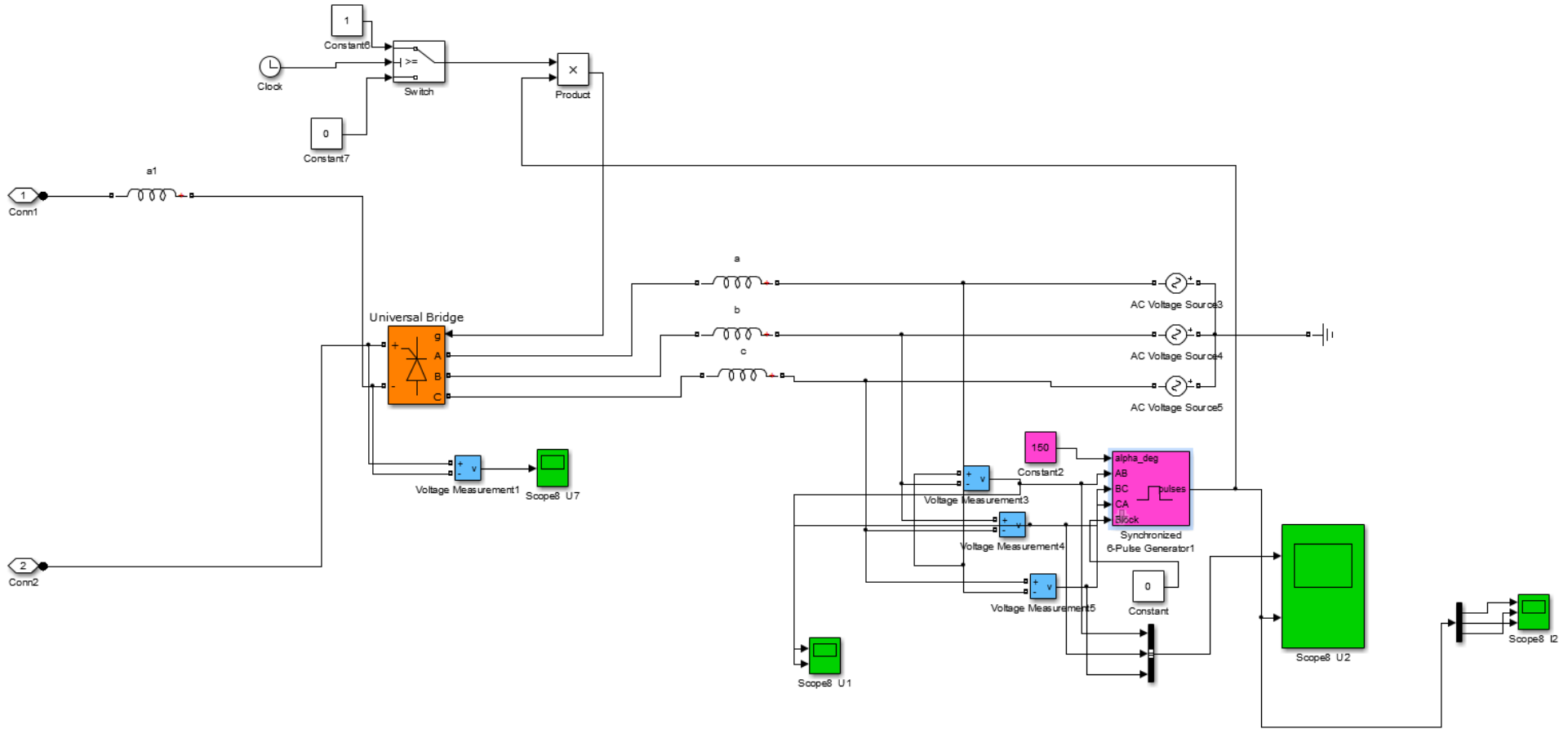


Рисунок 3.4 - Структурний блок імітаційної моделі інвертора відомого мережею

Керування АД в динамічному режимі роботи досягається обмеженням сумарного випрямленого струму ротора АД завдяки постійною комутацією транзистора завдяки широтно-імпульсній модуляції. Тривалість імпульсу γ задається пристроєм керування ШІР при постійній частоті комутації f_k [1].

Розроблено блок імітаційної підмоделі системи керування силового ключа (рис. 3.5) та блок імітаційної підмоделі системи керування інвертором відомим мережею (рис. 3.6), які було реалізовано у системі програмного засобу MatLAB у середовищі Simulink [1, 15].

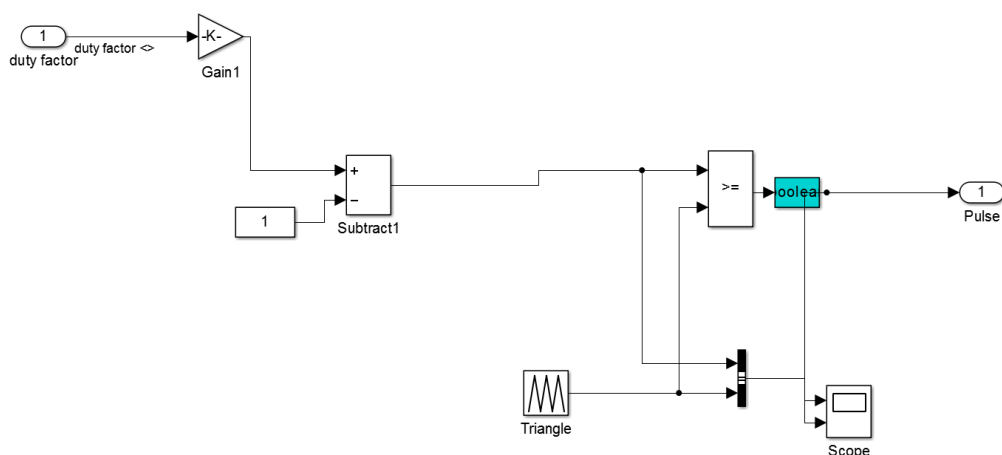


Рисунок 3.5 – Блок математичної підмоделі системи керування силового ключа перетворювача

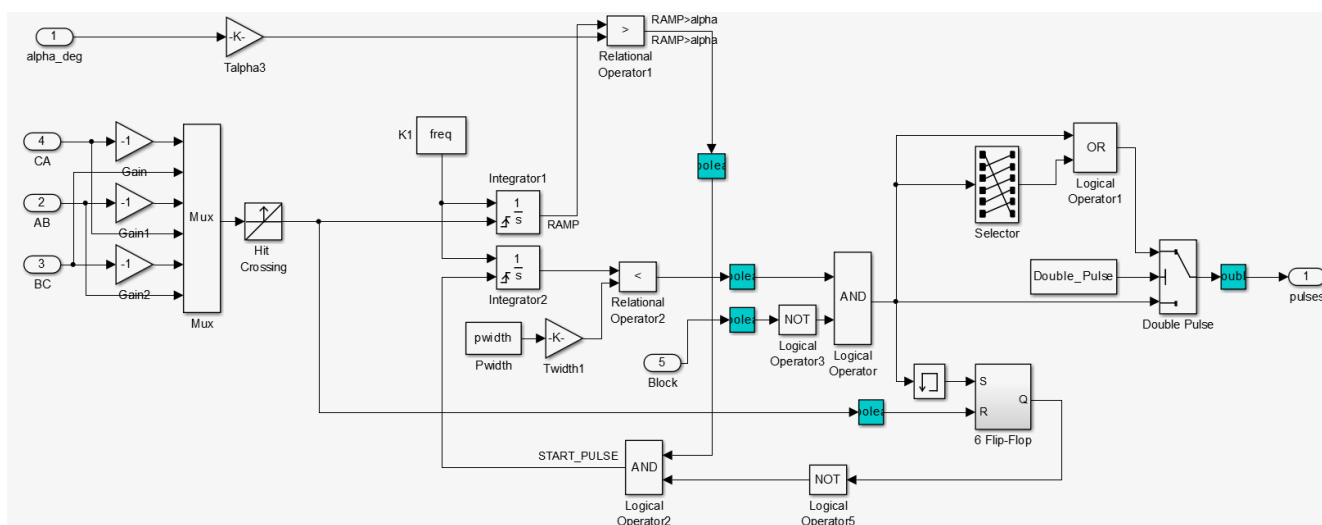


Рисунок 3.6 – Блок математичної підмоделі системи керування інвертора відомого мережею перетворювача

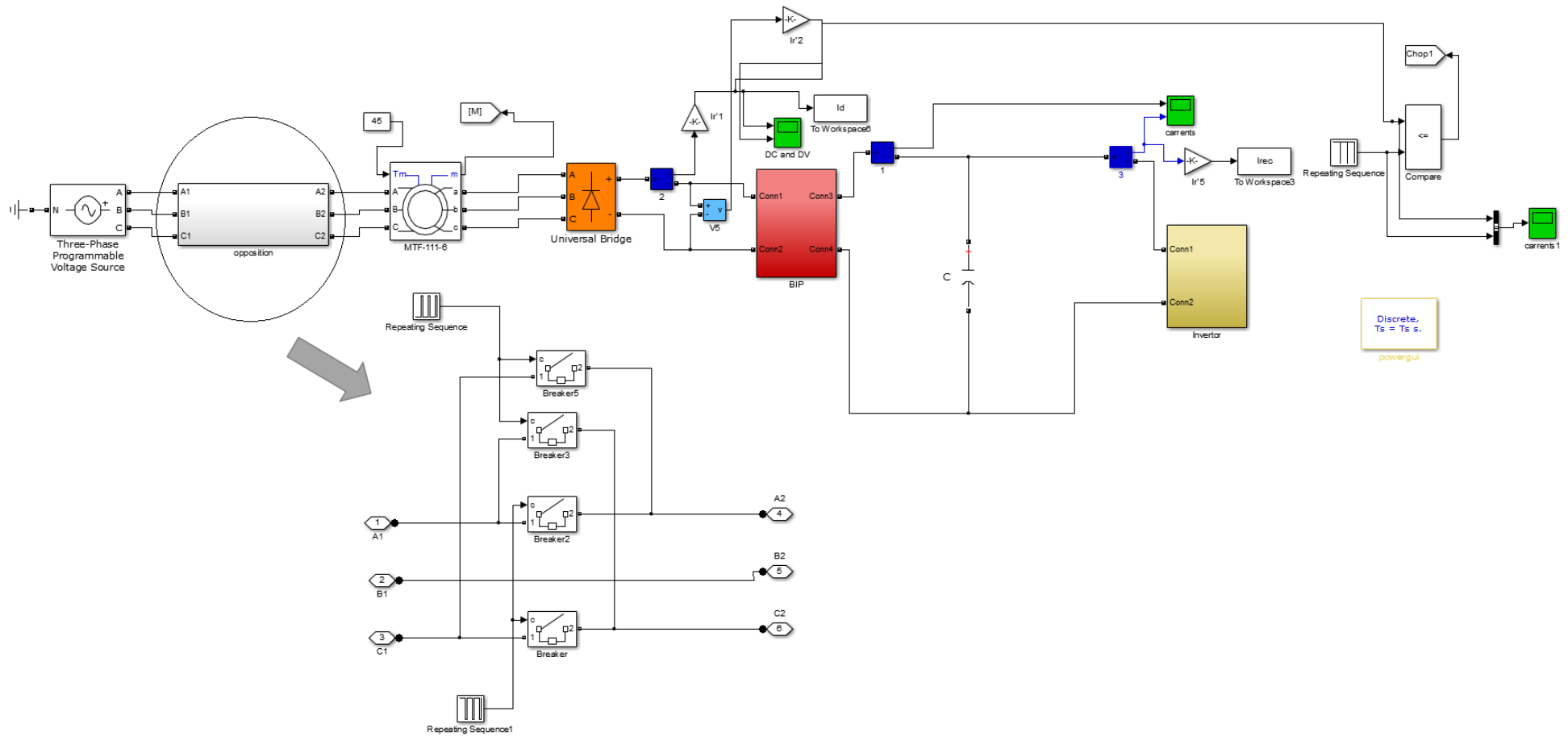


Рисунок 3.7. – Імітаційна модель асинхронного електроприводу

Розроблені блоки імітаційних підмоделей можуть бути зібрані у єдину імітаційну модель (рис. 3.7) для проведення дослідження електромагнітних та механічних процесів асинхронного електроприводу при реалізації режиму противмикання.

Таким чином, розроблена імітаційна моделей системи асинхронного електроприводу дозволяє реалізувати режим противмиканням та дослідити особливості протікання електромагнітних процесів як в двигуні так і у перетворювачі.

3.2. Дослідження режиму противмиканням асинхронного електроприводу

Для забезпечення узгодженості Е.Р.С. ротора АД з фазним ротором і Е.Р.С. відомого мережею інвертора, а отже обмежити наростання випрямленого струму ротора в момент реверсу визначається значення додаткового резистора R_p (див. рис. 3.1.) [1].

На рис. 3.8 – рис. 3.11 наведені осцилограми фазних струмів статора (I_s), ротора (I_r), електромагнітного моменту (M) і швидкості обертання ротора (n) АДз фазним ротором в момент реверсу з урахуванням (крива 1) і без урахування (крива 2) додаткового опору.

Початковий момент часу реверсу реалізується при $t = 0,3$ с. і триває до повної зупинки АД з фазним ротором. До початку реверсу АД з фазним ротором працює на штучній характеристиці при ковзанні $s=0,2$. Аналіз залежностей показав, що за рахунок узгодження Е.Р.С. ротора АД з фазним ротором і Е.Р.С. відомого мережею інвертора дозволить виключити наростання струмів статора і ротора АДФР до величини його короткого замикання. При цьому величини фазних струмів зберігаються на рівні номінальних значень, що в свою чергу забезпечує виключення кидка моменту АД з фазним ротором в момент реверсу.

Таким чином, за рахунок введення додаткового опору в колі випрямленого струму ротора АФ з фазним ротором в момент реверсу забезпечується обмеження наростання I_s в 3 рази, I_r - в 3,5 рази і M - в 2 рази.

Крім цього, іноваційна система імпульсного регулювання АД з фазним ротором забезпечує рекуперацію енергії ковзання при формуванні статичної та динамічної характеристик при досить простій схемі реалізації, що забезпечує її надійність.

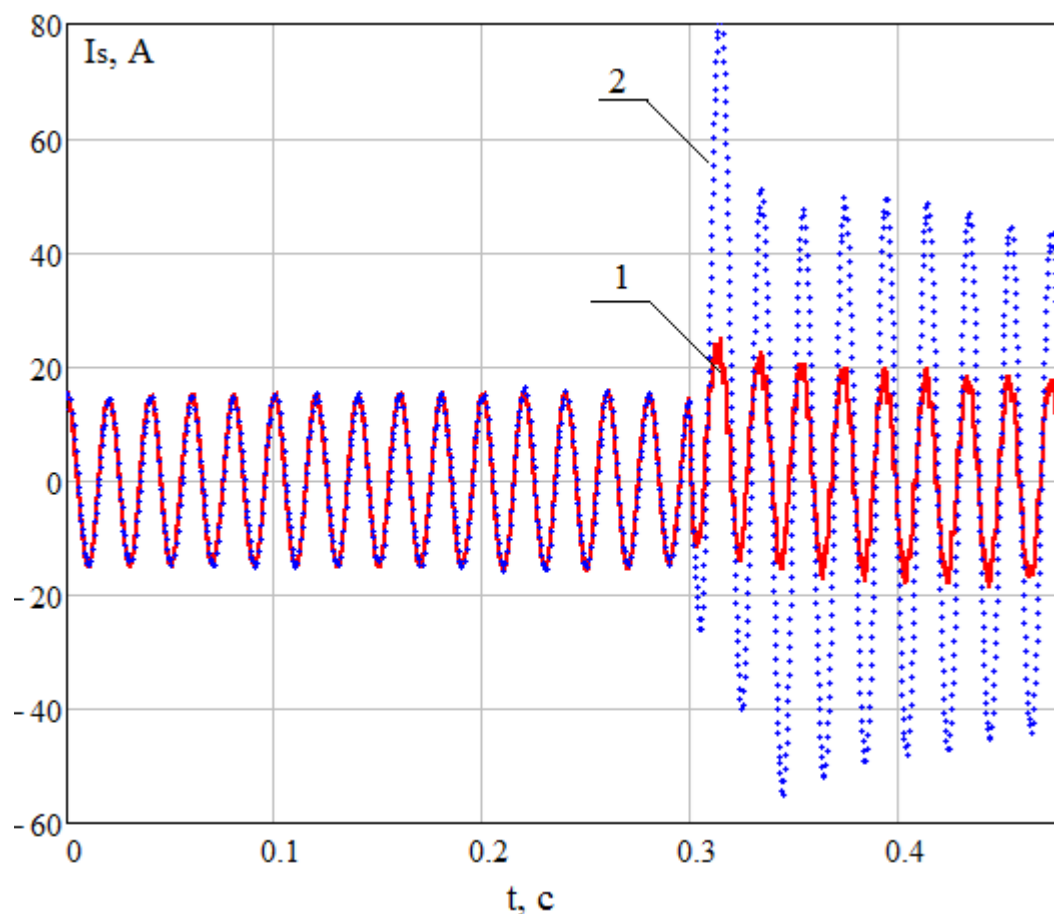


Рисунок 3.8 – Результати моделювання у вигляді струму статора для процесу гальмування противмиканням АД з фазним ротором з урахуванням (крива 1) і без урахування (крива 2) додаткового опору

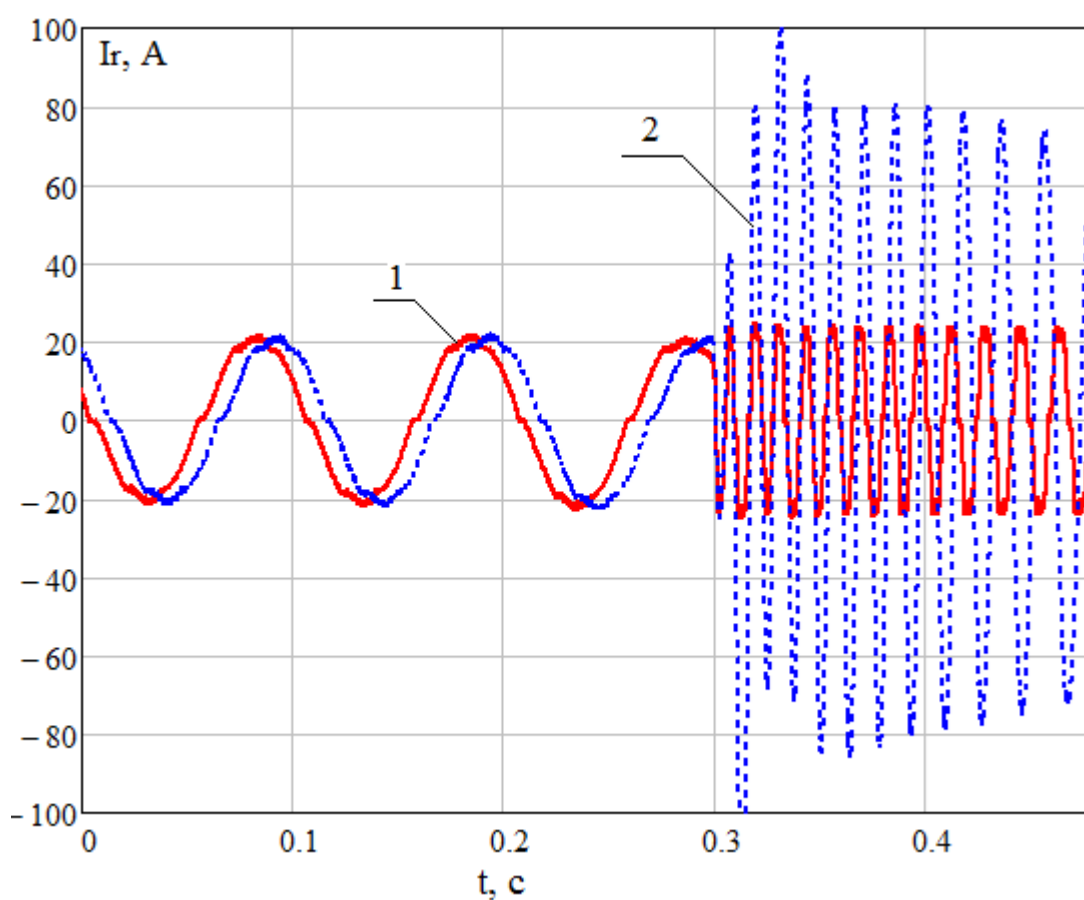


Рисунок 3.9 – Результати моделювання у вигляді струму ротора для процесу гальмування противмиканням АД з фазним ротором з урахуванням (крива 1) і без урахування (крива 2) додаткового опору

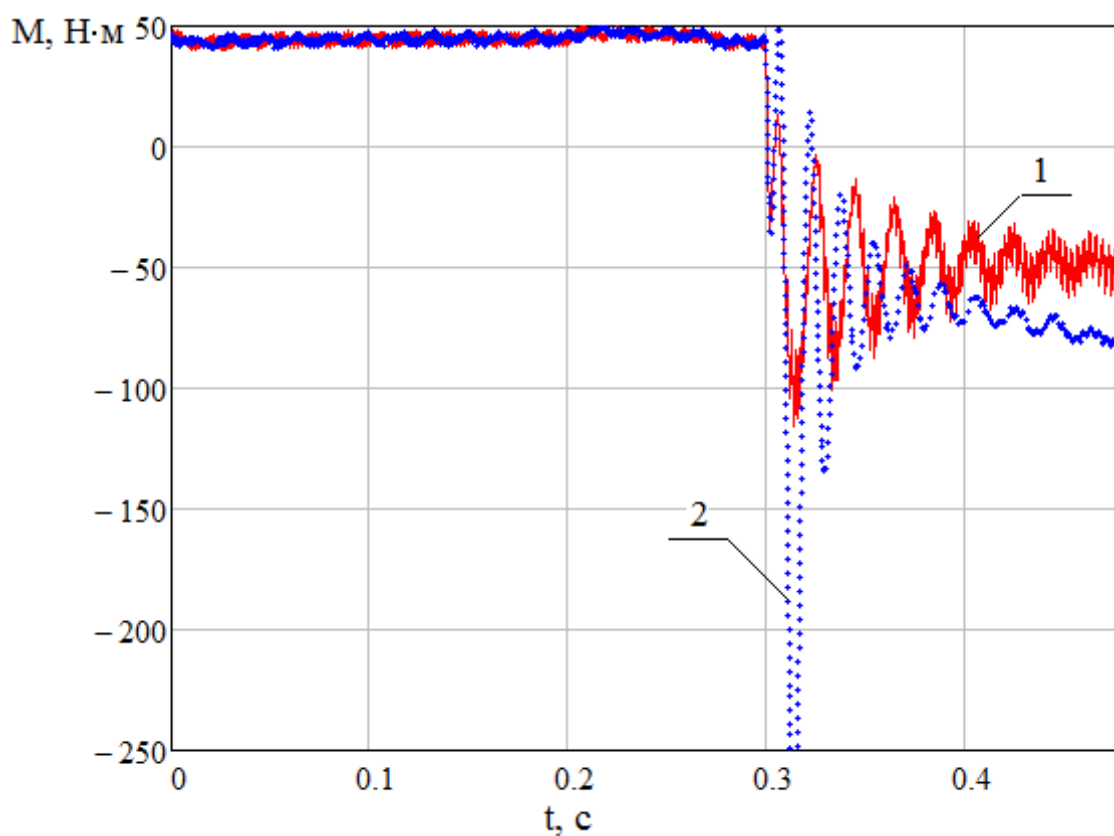


Рисунок 3.10 – Результати моделювання у вигляді електромагнітного моменту для процесу гальмування противмиканням АД з фазним ротором з урахуванням (крива 1) і без урахування (крива 2) додаткового опору

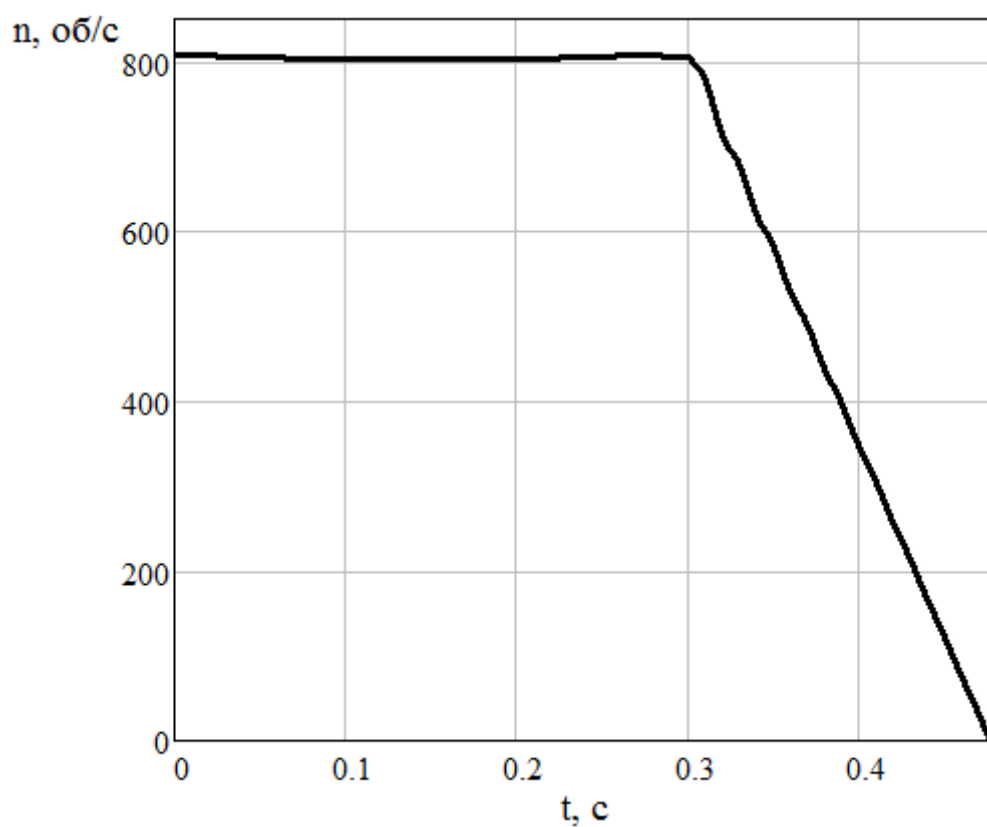


Рисунок 3.11 – Результати моделювання у вигляді частоти обертання для процесу гальмування противмиканням АД з фазним ротором з урахуванням (крива 1) і без урахування (крива 2) додаткового опору

4 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ

4.1 Характеристика продукції, інноваційного проекту, оцінка ринкового збуту

Електротехнічна продукція на світовому ринку представлена: трансформаторами, електрогенераторами, електродвигунами, високовольтними опорами, радіоелектронною апаратурою, світлотехнічним і електротермічним обладнанням та ін[20-23].

Основними виробниками електричних асинхронних двигунів у Західній Європі є ФРН, Франція, Великобританія, Італія. Виробники цих країн випускають устаткування практично всіх класів напруги і потужностей. Окрім них, виробниками електричних асинхронних двигунів, більш обмеженої номенклатури, є: Бельгія, Норвегія, Греція, Ірландія, Італія та інші невеликі країни Європи.

Підприємства електротехнічної промисловості при виготовленні продукції та наданні послуг по забезпеченню надійного електропостачання намагаються отримати певні результати своєї діяльності, яка визначається економічними показниками. Відношення двох величин – результатів господарчої діяльності та виробничих витрат у загальному вигляді являють собою економічну ефективність виробництва [23]. Одним з найважливіших показників ефективності виробництва є собівартість продукції. Собівартість продукції є грошовою формою витрат на підготовку виробництва, виготовлення та збуту продукції, та тісно пов'язана з ціною виробу [22]. Техніко-економічні показники зведено до табл. 4.1.

Головною умовою порівнянності нового й базового електричного асинхронного двигуна є тотожність наступних основних технічних параметрів: номінальних потужностей; окремих обмоток; кількості фаз; номінальних напруг

обмоток. На основі використання новітнього програмного забезпечення та використання нових матеріалів було досягнуто більш кращій к.к.д. та зменшення маси двигуна зменшилася, що в свою чергу зменшило собівартість виробу [20].

Таблиця 4.1. – Техніко-економічні показники електричного асинхронного двигуна

Найменування показників	Одиниця виміру	Базовий електродвигун	Спроектований електродвигун
1 Тип	-	MTF	MTF
2 номінальна потужність	кВт	3,5	3,5
3 номінальна лінійна напруга	В	380/220	380/220
4 синхронна частота обертання	об/хв	1000	1000
5 висота осі обертання	мм	200	200
6 частота мережі	Гц	50	50
7 номінальний струм	А	10	10
8 к.к.д.	%	88	89
9 $\cos \varphi$		0.78	0,83
10 динамічний момент інерції ротора	кг/м ²	0.20	0.18
11 маса двигуна	кг	75	75
12 кількість випуску електродвигуна	шт	10	10

Новий трансформатор має дещо покращені технічні показники та характеристики. Зменшилась маса обмоткового проводу та втрати неробочого ходу, маса електротехнічної сталі й струм неробочого ходу.

Визначення собівартості трансформатора є одним з елементів економічного обґрунтування. Вона буде розрахована нижче у економічній частині дипломного проекту.

4.2 Собівартість та ціна виробу

Собівартість продукції є економічним та фінансовим показником діяльності підприємства, характеризує ефективність управління і є основою розрахунку ціни [23].

Ціна виробу

$$Ц = C + П, \quad (4.1)$$

де $Ц$ – ціна виробу, грн.;

C – собівартість виробу, грн.;

$П$ – прибуток, грн.

Собівартість продукції представляє вартісну оцінку природних ресурсів таких як сировина, основні матеріали, паливо, енергія, основні засоби, трудові ресурси, а також інші витрати на виробництво та продаж продукції. Собівартість відображає величину поточних витрат, які мають виробничий, некапітальний характер та забезпечують процес простого відтворення. Собівартість є економічною формою відтворення спожитих факторів виробництва [21].

Повна собівартість виробу

$$C = M + K + Z_0 + Z_d + BC + 3BV + AB + BZ, \quad (4.2)$$

де M – вартість сировини та основних матеріалів, грн.;

K – вартість купівельних комплектуючих виробів, грн.;

Z_0 – основна заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

Z_d – додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

BC – відрахування в єдиний соціальний внесок з заробітної плати основних виробничих робітників, грн.;

Z_{BB} – загально виробничі витрати, грн.;

AB – адміністративні витрати, грн.;

BZ – витрати на збут, грн.

Виробнича собівартість

$$C_B = M + K + Z_0 + Z_d + BC + Z_{BB}. \quad (4.3)$$

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва [22]-[23].

Вартість сировини та основних матеріалів, які використовуються при виробництві електричного асинхронного двигуна, наведено у табл. 4.2.

Вартість купівельних комплектуючих виробів – у табл. 4.3. Вартість купівельних комплектуючих виробів розраховується на основі норм використання й цін, з урахуванням транспортно-заготівельних витрат.

Розрахунок вартості комплектуючих виробів та напівфабрикатів наводиться у таблиці 4.3.

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок. Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в табл. 4.4.

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше.

Таблиця 4.2 – Вартість сировини та матеріалів

Найменування матеріалів	Норма витрати	Ціна, грн.	Вартість, грн.
1 Електротехнічна сталь 2012, кг	44.10	140	6454
2 Алюміній А5, кг	2.9	110	275
3 Провід обмотувальний ПЕТВ 155, кг	10.2	249.09	2540.718
4 Провід настановний ПВКФ, м	1.5	5	7.5
5 Імідофлекс $\delta=0.2$ мм, кг	0.21	85	17.85
6 Склотекстоліт $\delta=0.2$ мм, кг	0.286	41	11.726
7 Труба ТКРМ діаметр 5мм, м	8	2.8	22.4
8 Лак КО – 916, кг	3.2	71	227.2
9 Ксилол, кг	1.32	34.50	45.54
10 Припой ПОС – 90, кг	0.016	445	7.12
11 Каніфоль соснова, кг	0.002	14.00	0.026
12 Емаль ПФ – 115, кг	0.155	26.86	4.1633
13 Лакотканини, м ²	0.5	36	18
14 Стрічка кіперна, м	40	9.50	380
Разом			10089.12
Транспортні послуги, 8%			897.02
Реалізовані відходи (віднімаються) 2%			281
Всього вартість матеріалів			11267.14

Таблиця 4.3 – Вартість комплектуючих виробів та напівфабрикатів

Найменування комплектуючих	Норма витрати	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4
1 Станина, шт.	1	679	679
2 підшипниковий щит, шт.	2	871	1742
3 наконечник S=10 мм ² , шт.	6	3.02	18.14
4 підшипник 76180312Ш2У, шт.	1	293.40	293.40
5 подшипник 7680312Ш2У, шт.	1	119.31	119.31
6 металовироби, кг	5	4.01	20.05
Разом			2871.9
Т.з.р, 8%			229.752
Всього вартість комплектуючих			3101.652

Таблиця 4.4 – Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка)

Найменування основних робіт	Норма часу, н.ч.	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн.	Заробітна плата основних робітників, грн.
1 Гільзовка пазів двигуна	0,850	II	24	20,40
2 Підготовчі роботи	0,036	II	24	0,86
3 Обмотування	2,150	III	28	60,20
4 Ізолюванням провідників	0,033	II	24	0,79
5 Слюсарні роботи	1,060	III	28	29,68
6 Слюсарні роботи	0,820	II	24	19,68
7 Консервація	0,063	I	22	1,39
Разом	5,012			133

Додаткова заробітна плата складає 40 % від основної

$$Z_D = \frac{K_D}{100} \cdot Z_O, \quad (4.4)$$

де K_D – процент додаткової заробітної плати, $K_D = 40\%$,

$$Z_D = \frac{40}{100} \cdot 133 = 53.5 \text{ грн.}$$

Відрахування в єдиний соціальний внесок являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22 % від фонду оплати праці.

Відрахування в єдиний соціальний внесок

$$BC = (Z_O + Z_D) \cdot \frac{K_{BC}}{100}, \quad (4.5)$$

де K_{BC} – відрахування на соціальні заходи, $K_{BC} = 22\%$,

$$BC = (133 + 53.5) \cdot \frac{22}{100} = 41.2 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу та інші [20]-[23].

Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% від основної заробітної платні та розраховуються за формулою

$$ЗВВ = З_о \cdot \frac{\alpha}{100}, \quad (4.6)$$

де α – величина відсотку загально виробничих витрат, $\alpha = 400 \%$,

$$ЗВВ = 133 \cdot \frac{400}{100} = 534.96 \text{ грн.}$$

Виробнича собівартість по (4.3)

$$C_B = 11267.14 + 3101.652 + 133 + 53.5 + 41.2 + 534.96 = 15132.192 \text{ грн.}$$

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно-управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші.

Адміністративні витрати

$$AB = \frac{\beta}{100} \cdot З_о, \quad (4.7)$$

де β – величина відсотку адміністративних витрат, $\beta = 500 \%$,

$$AB = \frac{500}{100} \cdot 133 = 668.7 \text{ грн.}$$

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші [23].

Витрати на збут

$$BЗ = \frac{\gamma}{100} \cdot C_B, \quad (4.8)$$

де γ – величина витрат на реалізацію, $\gamma = 2$ %,

$$BЗ = \frac{2}{100} \cdot 15132.192 = 302.6 \text{ грн.}$$

Повна собівартість продукції по (4.2)

$$C = C_B + AB + BЗ,$$

$$C = 15132.192 + 668.7 + 302.6 = 16103.492 \text{ грн.}$$

Прибуток

$$П = C \cdot \frac{P}{100}, \quad (4.9)$$

де P – рентабельність виробу, $P = 30$ %,

$$П = 16103.492 \cdot \frac{30}{100} = 4831.05 \text{ грн.}$$

Оптова ціна одиниці продукції

$$Ц_{опт} = C + П, \quad (4.10)$$

$$C_{OPT} = 16103.492 + 4831.05 = 20934.5396 \text{ грн.}$$

Податок на додану вартість згідно законодавства

$$ПДВ = (C_{OPT} - M - K) \cdot \frac{H_{ПДВ}}{100}, \quad (4.11)$$

де $H_{ПДВ}$ – норматив податку на додану вартість, $H_{ПДВ} = 20\%$,

$$ПДВ = (20934.5396 - 11267 - 3101) \cdot \frac{20}{100} = 1313.308 \text{ грн.}$$

Ціна продажу виробу

$$C_{PP} = C_{OPT} + ПДВ, \quad (4.12)$$

$$C_{PP} = 20934.5396 + 1313.308 = 22247.85 \text{ грн.}$$

Калькуляцію собівартості і ціни продукції наведено в табл. 4.5.

4.3 Експлуатаційні витрати

Річні експлуатаційні втрати розраховуються з урахуванням кожного типу електрообладнання. Експлуатаційні втрати при використанні у споживача трансформатора вміщують [21]-[23]:

- на покриття втрат неробочого ходу;
- на покриття втрат короткого замикання;
- на покриття втрат реактивної потужності, викликані струмом НХ і КЗ;

– на обслуговування і поточний ремонт.

Витрати на покриття втрат неробочого ходу

$$B_{HX} = C_{HX} \cdot \Delta_{HX} \quad (4.13)$$

де C_{HX} – вартість покриття 1 кВт втрат НХ, $C_{HX} = 500$ грн.

Δ_{HX} – зниження втрат неробочого ходу, $\Delta_{HX} = 4.407$ кВт,

Таблиця 4.5 – Калькуляція собівартості та ціни виробу

№	Статті витрат	Сума, грн.
1	Основні матеріали, (М)	11267
2	Комплектуючі частини, (К)	3101
3	Заробітна плата основних робітників, ($З_о$)	133
4	Додаткова заробітна плата, ($З_д$)	53.5
5	Єдиний соціальний внесок, (ЄСВ)	41.19
6	Загальновиробничі витрати, (ЗВВ)	534.96
7	Собівартість виробнича, (C_e)	15132
8	Адміністративні витрати, (АВ)	668.7
9	Витрати на збут, (ВЗ)	302.6
10	Собівартість повна, (C_n)	16103.5
11	Прибуток, (П)	4831.05
12	Ціна оптова, (C_o)	20934.54
13	Податок на додану вартість, (ПДВ)	1313.31
14	Ціна продажу з ПДВ, (C_n)	22247.85

$$B_{HX} = 4.407 \cdot 500 = 2203.5 \text{ грн.}$$

Витрати на покриття втрат короткого замикання

$$B_{HX} = C_{K3} \cdot \Delta_{K3}, \quad (4.14)$$

де C_{K3} – вартість покриття 1 кВт втрат КЗ, $C_{K3} = 800$ грн.;

Δ_{K3} – зниження втрат короткого замикання, $\Delta_{K3} = 1.006$ кВт,

$$B_{HX} = 800 \cdot 1.006 = 804.8 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.6 – Експлуатаційні витрати у споживача

Склад поточних витрат у споживача	Вибір		Економія
	базовий	новий	
1	2	3	4
Втрати НХ, кВт	4	3	1
Витрати на покриття втрат НХ:			
на 1 кВт, грн.	500	500	
на виріб, грн.	4000	2203.5	1796.5
Втрати КЗ, кВт	30	27	3
Витрати на покриття втрат КЗ			
на 1 кВт, грн.	800	800	
на виріб, грн.	1200	804.8	395.2
Усього, грн.	71	68	2195.7

Завдяки моделюванню теплових полів методами математичного моделювання було спроектовано двигун з кращім експлуатаційними можливостями, що допомогло зменшити витрати у споживача.

4.4 Беззбитковість

Беззбитковість можна виразити в кількості одиниць продукції, яку необхідно продати, щоб покрити витрати, після чого кожна додаткова одиниця проданої продукції буде приносити прибуток підприємству. Характеризується за формулою.

$$N_{кр} = \frac{ПОВ_i \cdot N}{Ц_{оп} - ЗВ_i}$$

$$Q_{пр} = Ц_{оп} \cdot N$$

ПОВ_i – постійні витрати на одиницю продукту ПОВ_i = 1506.26 грн.

N – обсяг випуску N = 10 одиниць.

Ц_{оп} – оптова ціна виробу Ц_{оп} = 20934 грн.

ЗВ_i – змінні витрати ЗВ_i = 14595.69 грн.

$$N_{кр} = \frac{1506.26 \cdot 10}{20934 - 14595.69} = 2.37 \text{ одиниць,}$$

$$Q_{пр} = 20934 \cdot 10 = 209340 \text{ грн.}$$

На графіку у перетині двох ліній знаходиться точка беззбитковості. Яка говорить нам про те, що двигун при масовому виробництві є прибутковим.

Завдяки цим показникам двигун може бути конкурентоспроможний на ринку збуту продукції.

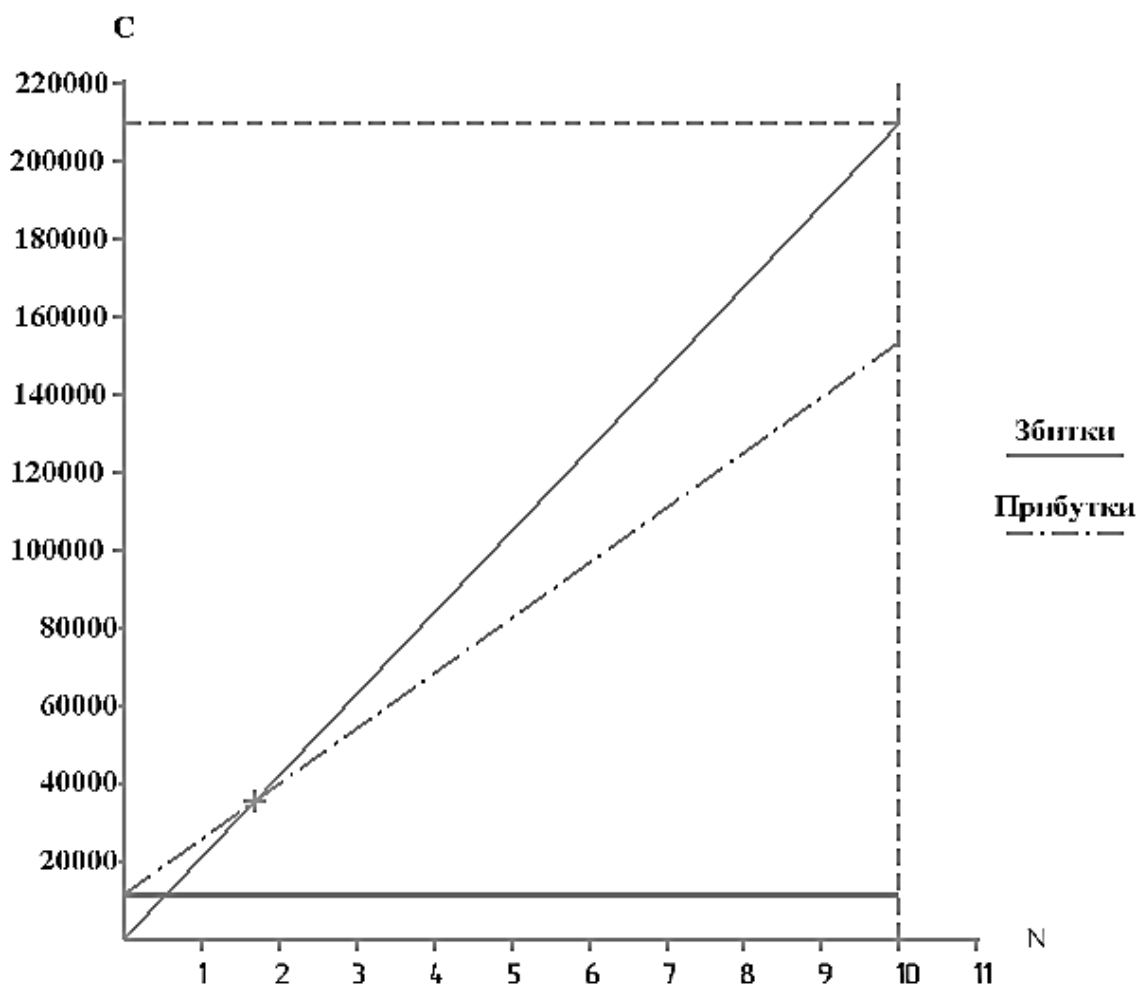


Рисунок 4.1 – Графік беззбитковості

У даному двигуні завдяки використанню сучасних більш високоякісних матеріалів, підвищилися енергетичні показники, що є важливим для зниження втрат енергії.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки тема випускної кваліфікаційної роботи – «Розрахунок асинхронного двигуна 3,5 кВт та дослідження режиму гальмування в системі електроприводу», передбачає проведення досліджень та розрахунків у приміщенні дослідницького центру обладнаному персональними комп'ютерами (далі – ПК) з екранними пристроями (далі – ЕП), тому нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії і гігієни праці для робочих місць приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ЕП, 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 ЕП, 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;

- механічне травмування в наслідок не раціонального розташування, устрою та обладнання робочих місць, тобто з порушенням ергономічних вимог до komponування робочого місця та до робочої пози;

- 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;

- незадовільні параметри мікроклімату в робочих приміщеннях, у зв'язку із відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальних систем, які можуть викликати загальні захворювання;

- недостатнє або надмірне освітлення робочих місць, в зв'язку з несправністю, або хибним вибором освітлювальних приладів, в зв'язку з неправильним розташуванням робочих місць по відношенню до джерел природного та штучного освітлення, що призводить до погіршення зору або ефекту засліплення;

- 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;

- 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;

- відсутність або неправильний вибір типу та необхідної кількості первинних засобів гасіння пожеж (вогнегасників) у результаті помилок у розрахунках, може стати причиною поширення пожежі, а як наслідок причиною термічних опіків різного ступеню важкості.

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 розрахунки асинхронного двигуна 3,5 кВт та дослідження режиму гальмування в системі електроприводу, є спеціалізованим приміщенням дослідницького центру яке обладнане ПК з ЕП.

Приміщення дослідного центру, що обладнане ПК з ЕП 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» [28] (далі – «ПУЕ»), ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом» [29] (далі – ДСТУ Б В.2.5-82:2016), НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [30], 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 місця 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.

У приміщенні обладнане вісім робочих комп'ютеризованих місць, до складу яких входять вісім рідкокристалічних моніторів Samsung Curved LC27JG50Q (LC27JG50QQIXCI), офісні меблі та стенди. Розміри приміщення: $8,5 \times 6 \times 3,2$ м., тобто його площа – 51 м², а об'єм – $163,2$ м³, 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 дослідного центру з ПК, для захисту від ураження електричним струмом при прямому дотику до струмовідних частин має основну та подвійну ізоляцію, яка складається з основної і додаткової

ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

Відповідно до п. 6.7.1 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» [32] ПК з ЕП, 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 дослідного центру з ПК, яке може опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Згідно «ПУЕ» [28] електрообладнання приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ЕП характеризується як електроустановки до 1 кВ, тому для забезпечення безпеки персоналу відповідно до вимог глави 1.7 «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «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 дослідного центру з ПК 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 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [37] (далі – «ПБЕЕ») користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають I групу з електробезпеки.

До оперативного обслуговування електромереж та електрообладнання у приміщенні дослідного центру, згідно 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], допускаються працівники зі складу оперативних або оперативно-виробничих працівників, які знають його схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань. Працівники що одноосібно обслуговують електромережі та електрообладнання у приміщенні дослідного центру мають III групу з електробезпеки.

Відповідно до вимог глави 1.3 «Вибір провідників за нагрівом» – «ПУЕ» [28] та ДСТУ Б В.2.5-82:2016 [29] 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.

Згідно 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. Також можливе інколи необхідне ручне регулювання геометричних розмірів і положення зображення на екрані, а також корекція спотворень.

5.2.2 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення дослідного центру обладнаного ПК з ЕП 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» [39], ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27] і НПАОП 0.00-7.15-18 [34].

Метеорологічні умови для приміщенні з комп'ютеризованими робочими місцями – температура, відносна вологість та швидкість переміщення повітря цілком відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [40] і ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [41]. Роботи у приміщенні з ПК, 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» [42], з метою забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні обладнаному ПК з ЕП передбачена система централізованого водяного опалення з радіаторами, а на теплий період, зважаючи на те, що площа приміщення становить 51 м² передбачений побутовий кондиціонер типу Zanussi ZACS/I-24 HE/A15/N1. Виходячи з того, що один кондиціонер розрахований на приміщення площею – 60 м².

З метою забезпечення необхідного повітрообміну у приміщенні обладнаному ПК з ЕП, зважаючи на те, що об'єм приміщення становить $163,2 \text{ м}^3$, передбачена система механічної припливно-витяжної вентиляції – методом рекуперації, за допомогою рекуператора типу Prana-340A. Який забезпечує 3-кратний обмін повітря за годину, виходячи з того, що він 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 з ЕП 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 з ПК згідно вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27] та ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [43] 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 кд/м^2 , захисний кут світильників – не менше 40° . Показник осліпленості для джерел загального штучного освітлення в 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 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 місцях 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 спеціальних 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 з ПК в якості екранних пристроїв встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами шкідливого рентгенівського та електромагнітного випромінювання. Рівень їх випромінювань цілком 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: $8,5 \times 6 \times 3,2$ м., тобто його площа – 51 м², а об'єм – $163,2$ м³, з урахуванням розміщення в ньому восьми 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 дифузно-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. 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 покриттям, що легко чиститься і не електризується.

Вимоги до режимів праці та відпочинку користувачів ПК визначаються роботою, яку виконує користувач відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 [27] та ДК 003:2010 «Класифікатор професій» [48].

Розробники програм – виконують роботу переважно з ПК та документацією. При цьому відбувається інтенсивний обмін інформацією з ПК і висока частота прийняття рішень. 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-емоційним напруженням, статичною робочою позою, періодичним навантаженням на кисті верхніх кінцівок. Для них встановлено внутрішньо-змінні режими праці та відпочинку при роботі з ПК при 8-годинній денній робочій зміні, для розробників програм із застосуванням ПК призначені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години. З метою зменшення негативного впливу монотонності на працюючого деякі операції чергуються, наприклад, введення тексту за допомогою клавіатури та редагування тексту тощо.

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 екранними пристроями комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці забезпечує безпечні та комфортні умови праці персоналу.

5.3 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.3.1 Заходи з пожежної безпеки

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

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

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» [49] у приміщенні дослідницького центру обладнаному

ПК з ЕП можлива пожежа класу – А (пожежа, 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], приміщення дослідного центру 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 ЕП належить до 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 ЕП 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 ЕП відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [30], та мають ступінь захисту оболонки (ізоляції) обладнання IP44 яка відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ЕП передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1.8 та глави 1.3 «Вибір провідників за нагрівом» – «ПУЕ» [28],

встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [54], у приміщенні дослідного центру обладнаному ПК з ЕП встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Артон-02П». 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 ЕП має площу 51 м^2 , 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 3 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м^2 площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ЕП, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

5.3.2 Оповіщення та інформування суб'єктів забезпечення цивільного захисту

Відповідно до вимог глави 6 «Кодексу цивільного захисту України» [55], оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій (далі – НС) полягає у своєчасному доведенні такої інформації до органів управління цивільного захисту, сил цивільного захисту (далі – ЦЗ), суб'єктів господарювання та населення.

Оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій забезпечується шляхом:

- функціонування загальнодержавної, територіальних, місцевих автоматизованих систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій, спеціальних, локальних та об'єктових систем оповіщення;

- централізованого використання телекомунікаційних мереж загального користування, у тому числі мобільного (рухомого) зв'язку, відомчих телекомунікаційних мереж і телекомунікаційних мереж суб'єктів господарювання в порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України, а також мереж загальнонаціонального, регіонального та місцевого радіомовлення і телебачення та інших технічних засобів передавання (відображення) інформації;

- автоматизації процесу передачі сигналів і повідомлень про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій;

- функціонування на об'єктах підвищеної небезпеки автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення;

- організаційно-технічної інтеграції різних систем централізованого оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій та автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій та оповіщення;

- функціонування в населених пунктах, а також місцях масового перебування людей сигнально-гучномовних пристроїв та електронних інформаційних табло для передачі інформації з питань цивільного захисту.

Встановлення сигнально-гучномовних пристроїв та електронних інформаційних табло покладається на органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання. Місця встановлення сигнально-гучномовних пристроїв та електронних інформаційних табло визначаються органами місцевого самоврядування, суб'єктами господарювання.

Оператори телекомунікації, телерадіоорганізації зобов'язані забезпечити підключення технічних засобів мовлення до автоматизованих систем централізованого оповіщення з установленням спеціального обладнання для

автоматизованої передачі сигналів та повідомлень про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій.

Порядок організації оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій та організації зв'язку у сфері цивільного захисту визначається «Положенням про організацію оповіщення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій та зв'язку у сфері цивільного захисту» [56].

Інформацію з питань цивільного захисту становлять відомості про надзвичайні ситуації, що прогножуються або виникли, з визначенням їх класифікації, меж поширення і наслідків, а також про способи та методи захисту від них.

Органи управління цивільного захисту зобов'язані надавати населенню через засоби масової інформації оперативну та достовірну інформацію, зазначену в частині першій цієї статті, а також про свою діяльність з питань цивільного захисту, у тому числі в доступній для осіб з вадами зору та слуху формі.

Інформація має містити дані про суб'єкт, який її надає, та сферу його діяльності, про природу можливого ризику під час аварій, включаючи вплив на людей та навколишнє природне середовище, про спосіб інформування населення у разі загрози або виникнення аварії та поведінку, якої слід дотримуватися.

Оприлюднення інформації про наслідки надзвичайної ситуації здійснюється відповідно до законодавства про інформацію.

5.3.3 Дослідження захисної споруд цивільного захисту за місткістю [57]

З метою захисту населення, зменшення втрат і шкоди економіці у випадку виникнення НС плануються та проводяться в комплексі три основних способи захисту населення:

1. Укриття населення в захисних спорудах.
2. Розосередження в заміській зоні робітників та службовців об'єктів, що

продовжують свою діяльність у місті в період НС, а також евакуація населення із цих міст.

3. Використання населенням засобів індивідуального захисту.

Захисні споруди класифікуються за наступними ознаками:

- за захисними властивостями;
- за місткістю (малі – 150-600; середні – 600-2000; великі – більше 2000 укриваємих);

- за призначенням;

- за розташуванням (вбудовані або окремо розташовані);

- за термінами будівництва.

Сховище складається з основних та допоміжних приміщень.

Основні: приміщення для укриваємих осіб, тамбури та шлюзи.

Допоміжні: фільтровентиляційні камери, санітарні вузли, захищені дизельні електростанції, медичний пункт та приміщення для зберігання води і продуктів.

Приміщення для укриваємих осіб при установці 2-х ярусних нар розраховуються із розрахунку $0,5 \text{ м}^2$, а 3-х ярусних - $0,4 \text{ м}^2$ площі та $1,5 \text{ м}^3$ об'єму на одного укриваємого.

Мінімальна висота приміщень сховищ – $2,2 \text{ м}$.

У приміщенні обладнаються 2-х або 3-х ярусні нари з розрахунку: місця для сидіння – $0,45 \times 0,45 \text{ м}$ на людину, верхні для лежання – $0,55 \times 1,8 \text{ м}$ – 20% при двох ярусному розміщенні і 33% при трьох ярусному від загального числа укриваємих.

Місткість захисної споруди ЦЗ об'єкту визначають відповідно до норм об'ємно-планувальних рішень. Для чого, по кількості місць оцінюють можливість укриття найбільшої працюючої зміни.

Вихідні дані:

1. На об'єкті одне сховище, у якому:

- приміщення для укриваємих має площу $S_1 = 618 \text{ м}^2$;

- тамбур – $S_2 = 48 \text{ м}^2$;

- місце для санітарного поста – $S_3 = 4,4 \text{ м}^2$;

- фільтровентиляційна камера та санвузол – $S_4 = 64 \text{ м}^2$.

2. Висота приміщень $h = 3,1 \text{ м}$.

3. Чисельність найбільшої працюючої зміни об'єкта $N_{max} = 1400 \text{ осіб}$.

Визначення місткості захисної споруди ЦЗ об'єкту [47]:

1. Визначаємо кількість місць для розміщення укритих.

З урахуванням того, що висота приміщень сховища ($h = 3,1 \text{ м}$) дозволяє установити трьохярусні нари, приймаємо в якості розрахункової норми площі на одного укритого $S_0 = 0,4 \text{ м}^2/\text{люд}$.

Тоді розрахункову кількість місць у сховищі (M) визначаємо за формулою:

$$M = \frac{S_{\Sigma}}{S_0} = \frac{618 + 4,4 + 64}{0,4} = 1716 \text{ місць} \quad (5.1)$$

Знайдене число визначає місткість сховища без урахування встановленого об'єму приміщень на одного укритого (V_0).

Перевіряють відповідність об'єму приміщень у зоні герметизації на одного укритого, згідно з встановленою нормою (не менше $1,5 \text{ м}^3$ на одного укритого):

$$V_1 = \frac{V_{\Sigma}}{M} = \frac{S_{\Sigma} \cdot h}{M} = \frac{(618 + 4,4 + 64) \cdot 3,1}{1716} = 1,24 \text{ м}^3 / \text{люд}, \quad (5.2)$$

де h – висота приміщень, м ;

S_{Σ} – загальна площа всіх приміщень у зоні герметизації (крім приміщень захищених дизельних електростанцій, тамбурів та шлюзів).

Таким чином місткість сховища не відповідає розрахунковій загальній кількості місць. Тому, уточнюємо його розрахункову місткість ($M_{уточ}$), й приймаємо її за фактичну:

$$M_{уточ} = \frac{V_{\Sigma}}{V_0} = \frac{(618 + 4,4 + 64) \cdot 3,1}{1,5} = 1419 \text{ місць} \quad (5.3)$$

Тобто, з урахуванням V_0 , розрахункова місткість сховища становить 1419 осіб.

2. Визначаємо необхідну кількість нар для розміщення укриваємих у сховищі. Висота приміщень ($h = 3,1 \text{ м}^2$) дозволяє установити трьохярусні нари. При довжині нар 180 см (33% місць для лежання, від загального числа укриваємих, тобто на 6 укриваємих одні нари) необхідно установити:

$$N = \frac{M_{\text{уточ}}}{6} = \frac{1419}{6} = 236 \text{ нар} \quad (5.4)$$

3. Визначаємо показник, що характеризує захисні споруди за місткістю, тобто можливість укриття найбільшої працюючої зміни:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\text{уточ}} \cdot 100}{N} = \frac{1419 \cdot 100}{1400} = 101 \% \quad (5.5)$$

Висновки:

- за місткістю сховище, що розглядалося, належить до середніх захисних споруд цивільного захисту;

- об'ємне-планувальні рішення сховища відповідають вимогам нормативних документів;

- сховище дозволяє прийняти 100% робітників та службовців найбільшої працюючої зміни;

- для розміщення укриваємих в сховищі необхідно установити 236 трьохярусних нар, які забезпечують 33% місць для лежання та 67% для сидіння.

Передбачений комплекс заходів з пожежної безпеки і цивільного захисту щодо своєчасного та якісно організованого оповіщення та інформування суб'єктів забезпечення цивільного захисту значно підвищує стійкість роботи об'єктів господарювання та безпеку персоналу і населення в умовах пожеж та інших надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У першому розділі розглянуті особливості застосування асинхронних двигунів та огляд гальмівних режимів роботи асинхронних двигунів. Визначені основні задачі дослідження магістерської роботи.

У другому розділі проведено електромагнітний розрахунок досліджуваного асинхронного двигуна, а саме головні розміри двигуна, розміри осердь статора і ротора, параметри обмотки статора і ротора, номінальний режим та режим холостого ходу, робочі та механічні параметри двигуна. Електромагнітний розрахунок дозволив визначити параметри схеми заміщення двигуна, значення яких потрібні при моделюванні електромагнітних процесів асинхронного електроприводу при реалізації режиму гальмування противмиканням.

У третьому розділі вдосконалена комплексна імітаційна модель асинхронного електроприводу з перетворювачем за схемою імпульсного регулювання в колі ротора, яка відрізняється тим, що містить контактору групу в колі статора для реалізації режиму противмикання. Імітаційна модель системи асинхронного електроприводу системи імпульсного регулювання асинхронного двигуна, яка дозволяє реалізувати режим противмиканням та дослідити особливості протікання електромагнітних процесів в самому двигуні.

За результатами дослідження Підтверджено ефективність синтезу контакторної схеми, що реалізує режим гальмування противмиканням із сучасною системою імпульсного регулювання. При реалізації режиму гальмування противмиканням асинхронного електроприводу з імпульсним регулюванням отримано підтвердження щодо зниження ударної складової струмів статора, ротора та електромагнітного моменту під час реверсу. При цьому забезпечується обмеження наростання струму статора в 3 рази, струму ротора - в 3,5 рази і електромагнітного моменту - в 2 рази. Це дозволить знизити ударну складову електромагнітного моменту в період реверсу, а також виключити розсіювання енергії ковзання ротора в обмотках статора і ротора АД з фазним ротором.

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

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 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.
2. Башарин, А.В. Управление электроприводами [Текст]: Учебное пособие для вузов / А.В. Башарин, В.А Новиков, Г.Г Соколовский; – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
3. Онищенко, Г. Б. Асинхронный вентильный каскад [Текст] / О. Б. Онищенко; - М., Энергия, 1967. – 152 с.
4. Онищенко, Г. Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок [Текст] / Г. Б. Онищенко; - М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
5. Онищенко, Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания [Текст] / Г.Б. Онищенко, И.Л. Локтева. - М.: Энергия, 1979. – 200 с.
6. Соколов, М.М. Асинхронный электропривод с импульсным управлением в цепи выпрямленного тока ротора [Текст] / М.М. Соколов, П.Е. Данилов; - М.: Энергия, 1972. - 72 с.
7. Шикуть, Э.В. Импульсный регулируемый электропривод с фазными электродвигателями [Текст] / Э.В. Шикуть, М.И. Крайцберг, П.А. Фукс; - М.: Энергия, 1972. - 104 с.
8. Феоктистов, В.П. Тиристорные импульсные преобразователи [Текст] / В.П. Феоктистов, О.Г. Чаусов; - М.: Информэлектро, 1985. – 55с.
9. Медведев, Е. И. Автоматизированный вентильный электропривод [Текст] / Е.И. Медведев; - Пермь: ПНИ, 1986. - 146 с.
10. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин/ [Текст] / И. П. Копылов –М: Энергоатомиздат, 1993. – 496 с.
11. Пат. 64126 Україна, МПК Н02Р 27/05(2006.01). Пристрій імпульсного керування процесами перетворення енергії в асинхронному двигуні з фазним

ротором [Електронний ресурс] / П.Д. Андрієнко, М.І. Коцур, І.М. Коцур; заявл. 22.04.11; опубл.25.10.2011, Бюл. №20. – Режим доступу: [http:// www.uipv.org](http://www.uipv.org).

12. Пат. Україна, 105994, 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; заявл. 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).

13. Пат. Україна, 112044, МПК H02P5/74 (2006.01). Дводвигуновий 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; заявл. 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).

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

15. Вольдек, А.И. Электрические машины [Текст]: учеб. Пособие для вузов / А.И. Вольдек; - Л.: Энергия. – 1978. - 832 с.

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

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

18. 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.

19. 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.

21. Жабицький, Р.С. Дослідження синхронізуючих властивостей дводвигунного електроприводу [Текст] / М.І. Коцур, Д.С. Андрієнко, Р.С. Жабицький // Тиждень науки-2021. Електротехнічний факультет: наук. – практ. конф., 19-23 квітня 2021 р.: Запоріжжя, 2021. – С. 91-92.

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

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

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

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

24. 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>

25. 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 СССР, 1974. 4 с. URI : https://dnaop.com/html/1596/doc-ГОСТ_12.0.003-74.

26. 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>.

27. 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>.

28. 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.

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 устройства электроустановок, 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. 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>.

31. 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>.

32. 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/paran22#n22>.

33. 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>.

34. 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>.

35. 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>.

36. 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>.

37. 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/>.

38. 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>.

39. 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>.

40. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартів безпеки праці. 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. Режим доступу : <http://docs.cntd.ru/document/1200003608>.

41. 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>.

42. 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.

43. 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>.

44. 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>.

45. 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>.

46. 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>.

47. 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>.

48. 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-pozhez/>.

49. 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>.

50. 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. Режим доступу : <https://studfile.net/preview/7596676/>.

51. 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>.

52. СНиП 2.09.02-85* Производственные здания. Зі змінами. [На заміну СНиП П-90-81 ; СНиП П-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.

53. 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>.

54. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 10.06.2021. URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

55. Положення про організацію оповіщення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій та зв'язку у сфері цивільного захисту. [Чинний від 2017-10-12 : редакція від 24.03.2021]. К. : КМ України, 2017. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/733-2017-п#n8>.

56. Журавель М. О., Курков О. Б. Дослідження захисних споруд цивільного захисту за місткістю : методичні вказівки до лабораторного заняття 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/123456789/4849>.

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			ГКІЮ.652415.001 СК	Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>	1	
		1		Статор		
		2		Ротор	1	
		3		Обмотка статора	1	
		4		Обмотка ротора	1	
		5		Корпус	1	
		6		Вентилятор	2	
				<u>Деталі</u>		
		7		Корпус щіткового вузла	1	
		8		Щит торцевий	1	
		9		Кожух захисний	1	
		10		Кришка щіткового вузла	1	
		11		Фланець	1	
		12		Фланець внутрішній	1	
		13		Фланець	1	
				ГКІЮ.652415.001		
Зам.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		
Розроб.		Жабицький Р.С.			Літ.	Лист
Перевір.		Коцур М.І.				1
Т. контр.		Коцур М.І.				2
Н.контр.		Коцур М.І.			НУ "Запорізька політехніка" ст. гр. Ез-810м	
Затв.		Андрієнко П.Д.				
Асинхронний двигун						
МТФ-111-6						

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
		14		Втулка	1	
		15		Фланець щіток	1	
		16		Щітки	3	
		17		Вал	1	
				<u>Стандартні вирби</u>		
		18		Болт М12 х 30	8	
				ГОСТ 7798-70		
		19		Гайка М10 ГОСТ 5927-70	8	
		20		Підшипник 314	2	
				ГОСТ 8338-75		
					<i>Лист</i>	
					2	
Зам.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		