

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики
(інститут)

Електротехнічний факультет
(факультет)

Кафедра електропривода
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню _____ магістра _____
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента _____ Фурніки Владислава Валерійовича _____
(ПІБ)

академічної групи _____ 141М-19-4 _____
(шифр)

спеціальності _____ 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка _____
(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ _____ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод _____
за освітньо-професійною програмою _____

(офіційна назва)

на тему Синхронний привод барабанних млинів із системою урівноваження пускового динамічного моменту _____
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи розділів:	Бородай В.А.			
Спеціальна частина	Бородай В.А.			
Економічна частина	Тимошенко Л.В.			
Рецензент	Хілов В.С.			
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Електропривода
(повна назва)

_____ Казачковський М.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« 02 _ » вересня 2020_ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня _____ магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту _____ Фурніці В.В. _____ академічної групи _____ 141М-19-4
(прізвище та ініціали) (шифр)
спеціальності _____ 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ _____ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
за освітньо-професійною програмою _____
(офіційна назва)

на тему _____ Синхронний привод барабаних млинів із системою урівноваження пускового
_____ динамічного моменту

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ 20.11.2020 № 965-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Спеціальний	Актуальність теми	14.10-27.10
	Проробка теоретичної частини	28.10-10.11
	Виконання дослідів	11.11-24.11
Економічна частина	Розрахунок економічної ефективності	25.11-8.12

Завдання видано _____ Бородай В.А.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі _____ 02.09.2020

Дата подання до екзаменаційної комісії _____ 17.12.20

Прийнято до виконання _____ Фурніка В.В.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, загального висновку та одного додатку на 84 сторінках, включаючи 26 рисунків, 115 формул, 5 таблиць та додаток.

Об'єкт роботи: синхронний привод барабаних млинів із системою урівноваження пускового динамічного моменту.

Ціль роботи: подальше вдосконалення схеми обмотки збудження з розщепленням обмотки для отримання покращених пускових характеристик у порівнянні із попередніми версіями.

Вибрані і обґрунтовані перспективні напрямки удосконалення синхронного двигуна.

Визначена раціональна схема обмотки збудження з розщепленням за рахунок монтажу конденсаторів та уведення у кожний ланцюг із конденсатором послідовно увімкнених опорів для синхронного приводу потужних барабаних млинів.

Досліджено і продемонстровано принципову можливість використання даної схеми обмотки збудження задля забезпечення бажаних пускових характеристик.

Для проведення досліджень використані положення теорії електричних машин, теоретичної електротехніки, математичне моделювання у пакеті MathCad.

Визначені капітальні та експлуатаційні витрати для модернізованого обладнання. Прорахована можлива економія через мінімізацію збитків.

МЕХАНІЗМ З ВАЖКИМ ПУСКОМ , ПОТУЖНИЙ СИНХРОННИЙ ПРИВІД , СИСТЕМА ЗБУДЖЕННЯ ІЗ РОЩЕПЛЕННЯМ ОБМОТКИ ТА КОНДЕНСАТОРАМИ ОДНАКОВОЇ ЄМНОСТІ З ПОСЛІДОВНО УВІМКНЕНИМИ ОПОРАМИ, РЕЗОНАНСНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ЗБУДЖЕННЯ, РАЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ ЗБУДЖЕННЯ.

					ЕП.МР.20.02.Р.ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The explanatory note consists of an introduction, 4 sections, a general conclusion and one appendix on 84 pages, including 26 figures, 115 formulas, 5 tables and an appendix.

Object of work: synchronous drive of drum mills with the system of balancing of the starting dynamic moment.

Purpose: to further improve the excitation winding circuit with splitting of the winding to obtain improved starting characteristics compared to previous versions.

Selected and substantiated promising areas for improvement of the synchronous motor.

The rational scheme of excitation winding with splitting due to the installation of capacitors and the introduction into each circuit with a capacitor of series-connected resistors for synchronous drive of powerful drum mills is determined.

The fundamental possibility of using this circuit of the excitation winding to ensure the desired starting characteristics is investigated and demonstrated.

The provisions of the theory of electric machines, theoretical electrical engineering, mathematical modeling in the MathCad package were used for research.

Capital and operating costs for upgraded equipment are determined. Possible savings through loss minimization are calculated.

MECHANISMS WITH HARD STARTS, POWERFUL SYNCHRONOUS IN-ON, EXCITATION WINDING ROSCHEPLENNYAM WITH AND CAPACITY CON- DENSATORAMY IDENTICAL WITH SERIES RESISTANCE IS SWITCHED ON, THE RESONANT SPEED AGITATION, EXCITATION SYSTEM RATIONAL SCHEME.

					ЕП.МР.20.02.Р.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст роботи

Вступ.....	5
------------	---

Розділ 1 –Актуальність теми магістерської роботи

1.1. Удосконалення електромеханічних систем барабанних млинів.....	11
1.2. Шляхи вдосконалення приводу млинів.....	12
1.3. Особливості синхронного приводу потужних барабанних млинів ...	16
1.4. Вибір напрямку досліджень та постановка задач досліджень.	18
Висновки.....	20

Розділ 2 – Теоретична частина роботи

2.1. Модель синхронного двигуна в осях d-q.....	21
2.2. Реактивний опір розщепленої обмотки.....	22
2.3. Розв'язання магнітних зв'язків.....	29
2.4. Визначення параметрів схеми заміщення.....	39
2.5. Пускові властивості млинів	47
Висновок.....	48

Розділ 3 – Дослідницька частина роботи

3.1. Розрахунок параметрів моделі синхронного двигуна.....	50
3.2. Розрахунок пускової механічної характеристики млина.....	61
3.3. Результати досліджень.....	62
Висновок.....	63

Розділ 4 – Економічна частина

4.1. Вступ	65
4.2. Розрахунок капітальних втрат	65

					ЕП.МР.20.02.3.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Розрахунок експлуатаційних затрат.....	68
4.4. Розрахунок амортизаційних відрахувань	69
4.5. Визначення річної економії від впровадження науково-технічного рішення	70
Висновок	72

Розділ 5 – Загальні висновки

Загальні висновки	73
-------------------------	----

Список літератури.....	75
------------------------	----

Додаток А	78
-----------------	----

Вступ

Існуюча тенденція до збільшення вартості енергоресурсів ставить виробничі підприємства перед вибором впровадження енергозберігаючих технологій, або зупинення виробництва через неконкурентноспроможність виробленої продукції. Серед можливих способів реалізації енергозбереження – використання синхронних двигунів у якості електроприводу виробничих механізмів гірничо-металургійної промисловості.

Відомо, що синхронні двигуни мають досить багато технічних та технологічних переваг. До них слід віднести - підвищене значенням ККД, незалежність моменту на валу двигуна від навантаження, можливість компенсації реактивної потужності, значний повітряний зазор, що дозволяє зменшити вимоги до точності виробництва та низька частота обертання вихідного валу, яка не вимагає встановлення додаткового редуктору і відповідно підвищує надійність електромеханічної системи в цілому.

Традиційно в барабанних млинах використовують синхронний привод завищеної потужності, що зумовлено важкими умовами пуску механізму. Як наслідок це не дозволяє двигуну працювати з номінальним максимальним ККД.

Беручи до уваги вимоги економії і ефективності млинів актуальність створення раціональної схеми збудження із розщепленням і конденсаторами не може бути під сумнівом.

Ціль та задачі досліджень

Основна ціль досліджень – адаптації пускових характеристик синхронного приводу до пускових властивостей потужних барабанних млинів засобами розщепленої обмотки збудження з однаковими конденсаторами на кожній парі полюсів, що забезпечить гарантований запуск електромеханічної системи з рівномірним динамічним моментом протягом усього терміну пуску.

					ЕП.МР.20.02.ВС.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення цієї цілі необхідно вирішити наступні завдання

- обґрунтувати необхідність покращення пускових властивостей електромеханічних систем синхронний двигун – класичний барабанний млин;
- обрати і обґрунтувати перспективні напрямки удосконалення синхронного двигуна;
- визначити раціональні параметрів схеми обмотки збудження з розщепленням за рахунок якої забезпечується бажані пускові властивості;
- дослідити і продемонструвати принципову можливість використання даної схеми обмотки збудження задля забезпечення бажаних пускових характеристик.

Методи дослідження

Для проведення досліджень використані положення теорії електричних машин, теоретичної електротехніки, математичне моделювання у пакеті MathCad.

Об'єктом досліджень пускові властивості потужних синхронних двигунів.

Предметом досліджень - статичні пускові механічні характеристики потужних синхронних приводів барабанних млинів.

Наукове положення, та результати які виносяться на захист:

Параметри схеми розщепленої обмотки збудження задля забезпечення монотонної пускової динамічної характеристики електромеханічної системи барабанний млин – синхронний двигун забезпечується полюсною ємністю в 130 мкФ, а необхідна добротність коливального контуру може бути реалізована полюсним резисторним опором у 5 Ом, які увімкнено послідовно із полюсним конденсатором.

					ЕП.МР.20.02.ВС.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наукова новизна роботи

Обґрунтовано підхід та надано рекомендації щодо раціонального вибору параметрів системи збудження із розщепленням та конденсаторами і резисторами однакової величини задля забезпечення монотонності зміни пускового динамічного моменту протягом усього пуску .

Відмінністю від результатів , одержаних іншими авторами, є використання оригінального підходу до впровадження відомої конструкції обмотки збудження із унікальним налаштуванням і підтвердження принципової можливості забезпечити рівномірний характер зміни пускової динамічної характеристики електромеханічної системи.

Практичне значення роботи:

Використання запропонованої системи збудження спростить її впровадження у промисловість, а загальна конструкція синхронного двигуна із такою системою дозволить зменшити простоті і відповідно підвищить продуктивність технологічного обладнання.

Основний зміст роботи

У розділі «АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ» наведено аналіз стану питання сучасного виробництва та обґрунтовано використання синхронного електроприводу в машинах з важкими умовами пуску. Доведено, що задля енергозбереження на підприємствах вигідно використання синхронних двигунів номінальної потужності, які мають й недолік - важкі умови пуску. Були знайдені рішення задачі щодо поліпшення пускових характеристик синхронного двигуна, шляхом вдосконалення приводу млинів.

У розділі «Теоретична частина роботи» була розроблена математична модель синхронного двигуна з покращеними пусковими властивостями, визначено метод розрахунку параметрів полюсних котушок и способу його

					ЕП.МР.20.02.ВС.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування. Розрахунок параметрів розщепленої обмотки та схеми заміщення обмотки збудження.

У розділі «ДОСЛІДНА ЧАСТИНА РОБОТИ» міститься розрахунок параметрів моделі та аналіз отриманих результатів досліджень, що проведені на базі серійного двигуна СДМЗ-2-24- 59-80УХЛ4 з розщепленою обмоткою збудження та конденсаторами однакової ємності.

У розділі «ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ» було виконано розрахунок капітальних затрат, кількість необхідних амортизаційних відрахувань та час окупності даного технічного рішення.

Ключові терміни

СИНХРОННІ МАШИНИ З ВАЖКИМИ УМОВАМИ ПУСКУ, ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНА ПРОМИСЛОВІСТЬ, РАЦІОНАЛЬНА СХЕМА ЗБУДЖЕННЯ З КОНДЕНСАТОРАМИ ОДНАКОВОЇ ЄМНОСТІ

					ЕП.МР.20.02.ВС.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1. Удосконалення електромеханічних систем барабанних млинів.

Одна з найбільш важливих проблем створення надпотужних барабанних млинів складається з необхідності їх оснащення сучасним, простим та надійним і економічним приводом. Переваги та недоліки існуючих типів приводів відомі [1,2,3]. З урахуванням всіх обставин переважна більшість барабанних млинів обладнані зубчатим приводом з одним двигуном, можливості якого обмежені навантаженням 400-440 кВт/(об/хв). Отже, млини, наприклад, розмірами барабанів 9000х3000 мм та потужністю привода 4 МВт – практично на межі можливостей застосування.

Для барабанних млинів великих розмірів проблему приводу слід вирішувати інакше. Як правило, - це використання багато потокових ліній передачі моментів, що ускладнює привод [4]. Інше рішення цього складного питання передбачає використання без редукторних електричних приводів з низькочастотними перетворювачами. Такі приводи мають перевагу, але їх суттєвими недоліками являються значні капітальні затрати, відносно низький ККД, негативний вплив на живлячу мережу, наявність великих приміщень для перетворювачів і т.п..

Спостерігається значне підвищення економічних показників привода, яке безпосередньо зв'язане з збільшенням частоти обертання електродвигунів, що застосовуються. Це підтверджує, що первинним напрямком розвитку конструкцій млинів та вдосконалення привода являється не тільки перехід на підвищенні частоти обертання та підвищення постійної швидкості. А це означає, що для млинів з зубчастим зачепленням, яке з точки зору допустимого навантаження ще себе не вичерпало, доцільно знайти засіб (для заданої швидкості обертання) збільшення моменту опору внутрішньо млинової зачіпної передачі.

					ЕП.МР.20.02.01.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглядаючи перспективи розробки сучасних електроприводів барабанних млинів та припускаючи доцільність використання в них, як правило, синхронних електродвигунів, слід підкреслити їх характерний признак – значний пусковий струм. Це зв'язано як з необхідністю забезпечення приводом відносно великих пускових моментів, так і з низьким $\cos\varphi$ практично протягом всього розгону. Таким чином, вибираючи напрямок вдосконалення зубчастих приводів барабанних млинів, необхідно мати на увазі можливість покращення показників приводу створенням умов для зниження моментів зрушення млинів. Значно скоротити час розгону можливо також певною оптимізацією механічних характеристик млинів. Одночасно це покращує режим роботи живлячої мережі за рахунок скорочення часу розгону приводу та, як наслідок, зниження пускових струмів двигунів.

Висновки: покращення показників приводу та його спрощення, підвищення надійності та економічності можливе підвищенням швидкості обертання млинів та моменту опору їх завантаження. В результаті підвищиться одинична потужність млина, обладнана вискоефективним приводом, який знизить питомі витрати електроенергії на подрібнення.

1.2. Шляхи вдосконалення приводу млинів.

Покращити приводи з синхронними двигунами можливо шляхом резонансних ефектів для їх обмоток збудження, оскільки при цьому з'являються можливості одночасного збільшення пускового моменту та зниження пускового струму [4]. При цьому обмотки збудження повинні бути розщепленими і мати власну (Рис.1.1), або зовнішню (Рис.1.2) ємність, що сприяє виникненню резонансних ефектів. Неповне використання ефекту резонансу в обмотці збудження шляхом створення ємнісного характеру складової струму може значно покращити загальний $\cos\varphi$ двигуна в пусковому режимі.

					ЕП.МР.20.02.01.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

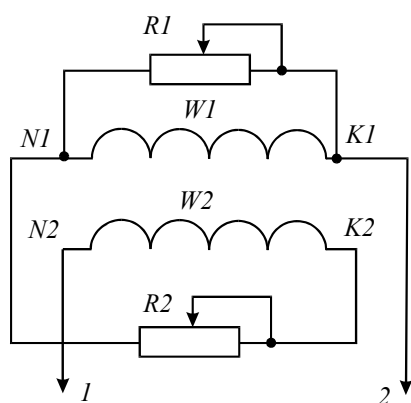


Рис.1.1 – Схема з'єднань секцій розщепленої обмотки збудження з власною ємністю (W_1, W_2 – число витків верхньої та нижньої котушок обмотки збудження; R_1, R_2 – пускові реостати; N_1, N_2, K_1, K_2 – початок та кінець обмоток збудження)

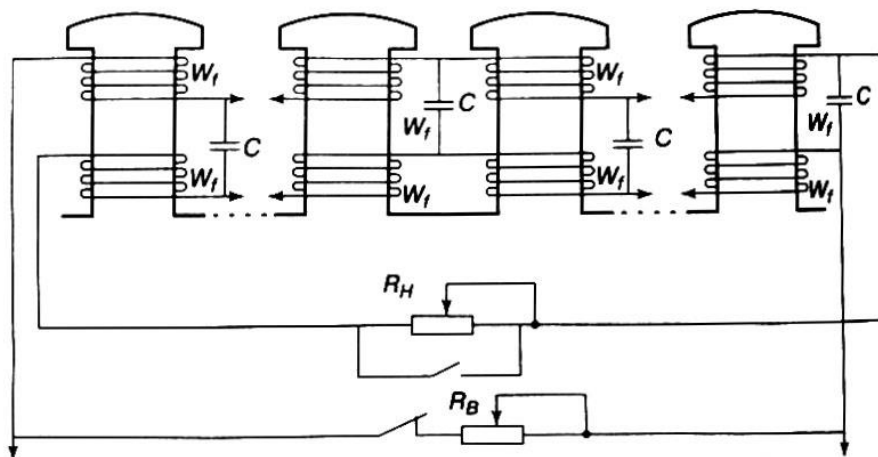


Рис.1.2 – Схема з'єднань секцій розщепленої обмотки збудження з зовнішньою ємністю (W_f – число витків; R_n, R_b – пускові реостати; C – конденсатори)

Це досягається завдяки повній або частковій компенсації індуктивної складової струмів пускової обмотки двигуна та обмотки статора. При цьому при відповідній ємності конденсаторів частотне рознесення резонансних зон (Рис 1.3) покращує форму механічної характеристики двигуна. При використанні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

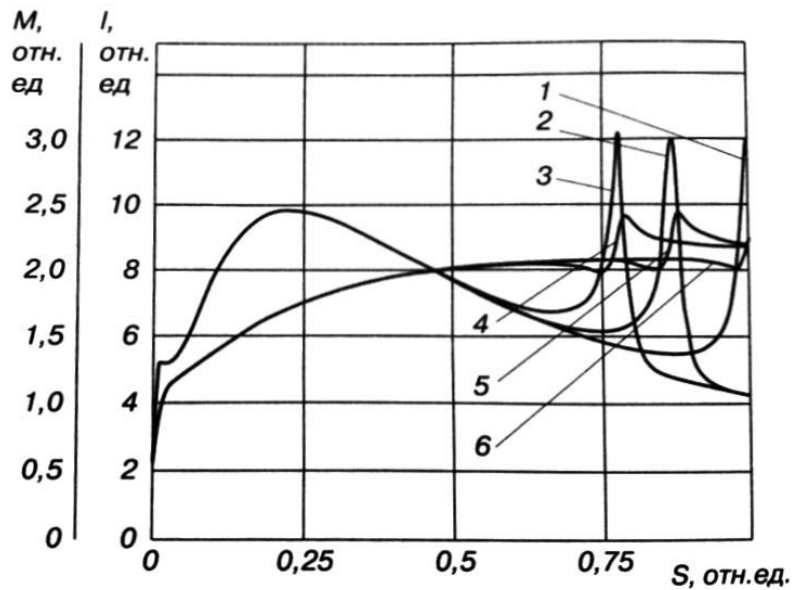


Рис.1.3 – Пускові характеристики двигуна при різній ємності зовнішніх конденсаторів, мкФ:
1,6- 24; 2,5 – 48; 3,4 – 64 мкФ

резонансних явищ в обмотці збудження корисно одночасно регулювати напругу на статорі, наприклад тиристорним регулятором. При умові обмеження асинхронного моменту це дозволить додатково знизити пусковий струм в області підвищеного ковзання.

Серед перспективних напрямків удосконалення синхронних приводів – метод програмного керування в асинхронних режимах напругою збудника (пускового пристрою) (Рис.1.4), запропонований Національним гірничим університетом України. Сутність метода полягає у формуванні змінної складової струму збудження таким чином, щоб знизити динамічні навантаження електродвигуна. Причому ці навантаження найменші, а надійність синхронізації найвища при умові компенсації періодичної складової електромагнітного моменту та підвищення його середньої складової в зоні малих ковзань. При цьому розрядний опір в ланцюгу збудження виводиться, а напруга збудника фіксується після динамічного перевищення двигуном синхронної частоти обертання. Для зниження негативного впливу нестабільності параметрів двигуна у складі мікропроцесорного пристрою передбачений блок фазової корекції

алгоритму керування збудником. Збудник має систему датчиків для контролю внутрішнього кута, напруги статора та струму його обмоток. При низькому коефіцієнті форсування напруги збудника пропонується використовувати кінетичну енергію приводу.

3-50 Гц, 6 кВ

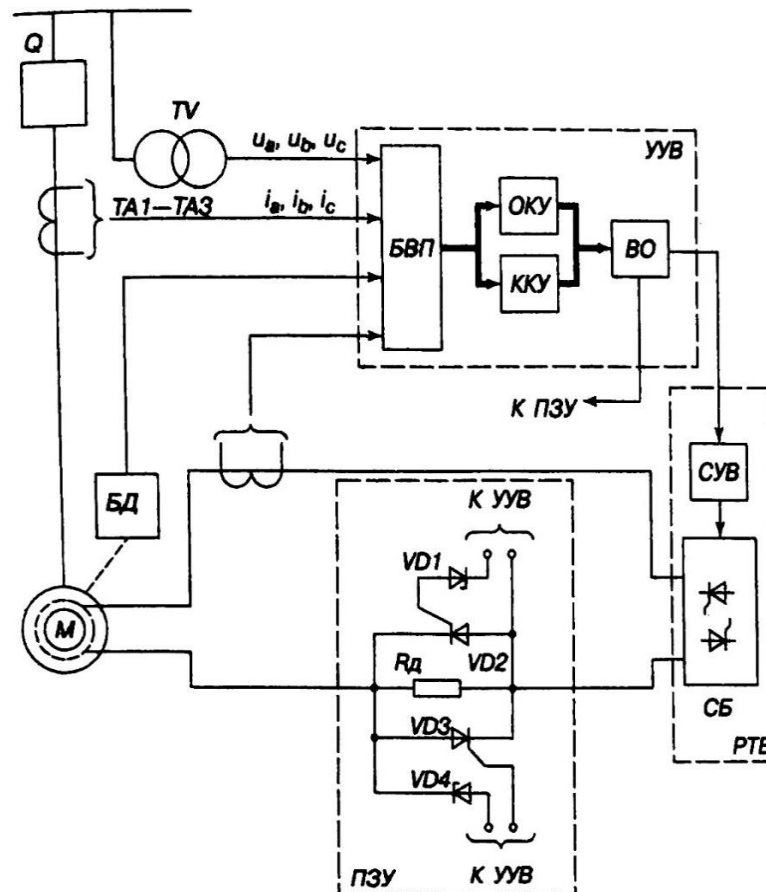


Рис.1.4 – Функціональна схема пускового пристрою:

М – синхронний двигун; Q – масляний вимикач; TV – трансформатор напруги; TA1-TA3 – трансформатори струму; VD1,VD4 – стабілітрони; VD2,VD3 – тиристри; R_д – розрядний резистор; БД – блок імпульсного датчика; БВП – блок перетворення входних сигналів; ВО – блок вихідних сигналів; ПЗУ – блок пускозахисного пристрою; УУВ – пристрій керування збудником; СУВ – система управління збудником; РТВ – регульований тиристорний збудник; ОКУ – основний канал керування; ККУ – канал корекції керування.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.МР.20.02.01.ПЗ

Арк.

15

Ефективність використання програмно-керованого збудника та метода програмного формування його навантаження ілюструють криві (Рис.1.5) синхронного привода млина ММС-90х30 з номінальною потужністю двигуна 4 МВт. Залежності ω_d та ω_m – це частоти обертання двигуна та млина при традиційному та новому збудженні.

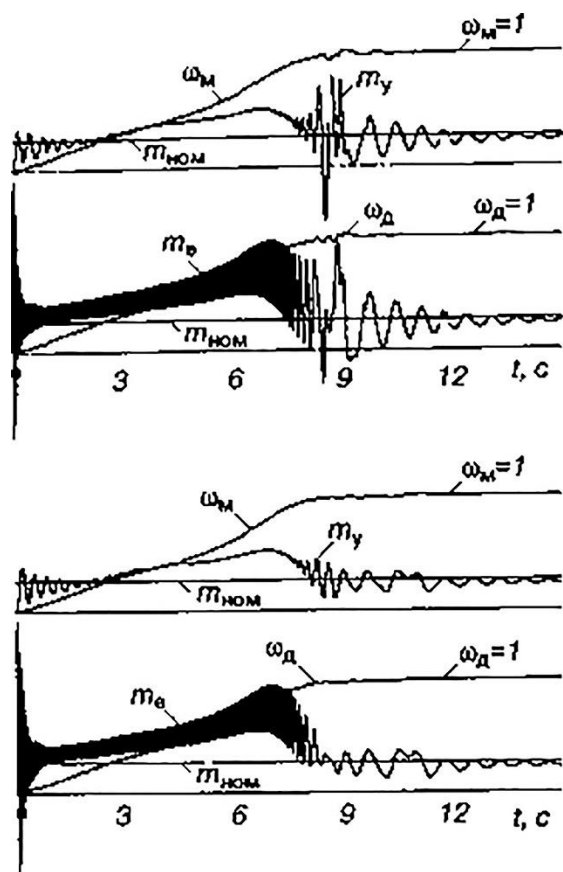


Рис.1.5 – Динаміка прямого пуску привода млина ММС-90х30 при відсутності (а) та використанні (б) програмно-керованого збудника

Серед перспективних напрямків використання програмного керування збудником – стабілізація навантажень шестерень, зниження динаміки ресинхронізації, вирівнювання навантажень між двома двигунами і т.п..

1.3. Особливості синхронного привода потужних барабанних млинів.

Гірничі машини дробарно-здрібнювального циклу характеризуються важкими умовами запуску. Так, потужні щоківі дробарки мають момент запуску, що лежить у межах від 2 до 2,5 номінального. Як наслідок, для його подолання даний тип механізмів оснащують груповим приводом, до складу

якого входить головний та розгінний двигуни, де останній працює тільки у термін запуску. Подібні труднощі спостерігаються і у конусних дробарках, які працюють під завалом. Традиційно цю проблему вирішують шляхом підвищення потужності приводу на 30 – 50%. Кратність пускового моменту приводних двигунів барабаних млинів становить 1,4 – 1,5 із стрижневим і 1,2 – 1,3 із кульовим завантаженням. Зазвичай їх гарантований запуск забезпечується вибором двигунів із запасом потужності в 15 – 25%. Крім того, у результаті попереднього вивчення пускових властивостей млинових приводів встановлено, що при зазначеному запасі потужності та за умови ущільнення внутрішньомлинового завантаження синхронізація приводу не завжди гарантується (див. рис. 1.6). Таким чином, сучасне вирішення наведених

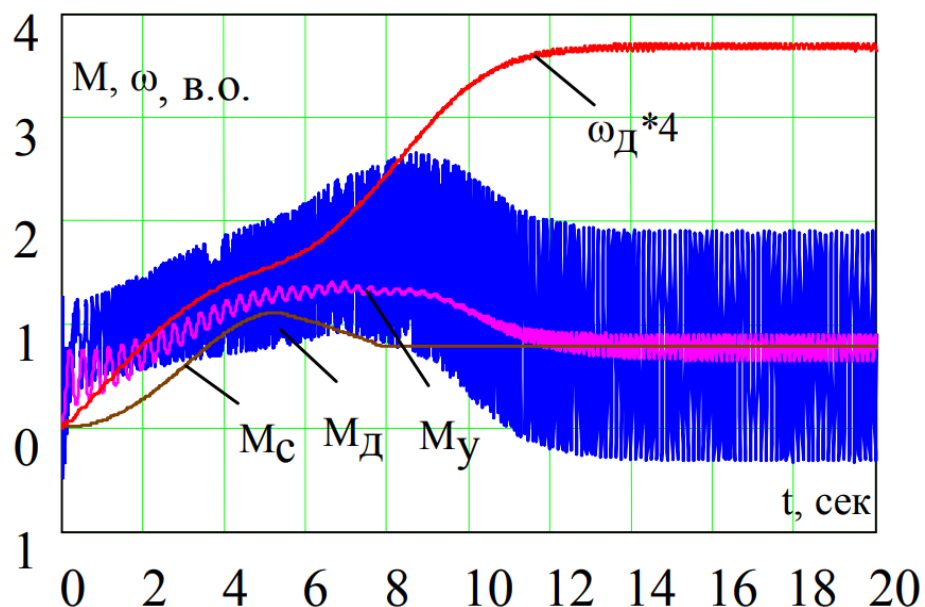


Рис.1.6 – Вплив ущільнення завантаження на процес пуску
 M_D , M_y , M_c – моменти двигуна, пружний, статичний; w_d – швидкість двигуна.

проблем здійснюється завдяки підвищенню встановленої потужності приводів у діапазоні від 15 – 50%, а зниження їх початкового моменту інерції, який виникає за рахунок ущільнення внутрішньомлинового завантаження, досягається шляхом випрацювання завантаження перед кожною плановою або в неплановою зупинкою обладнання. Як наслідок, підприємства гірничої промисловості несуть

досить значні капітальні та невиробничі витрати.

1.4. Вибір напрямку досліджень та постановка задач досліджень.

Уникнути проблем, що виникають у процесі промислової рудопідготовки, можливо за допомогою використання як приводів великих подрібнювальних установок синхронних двигунів із покращеними пусковими властивостями. Одним із перспективних методів їх поліпшення є використання у синхронному приводі обмоток збудження з активно-індуктивно-ємнісними властивостями [5–6]. Сутність їх роботи полягає у підвищенні складової активного струму ротора за рахунок створення в них резонансних явищ на заздалегідь заданих ділянках пускової характеристики. Із числа запропонованих розщеплених обмоток збудження [4–6] найпростішою, з точки зору реалізації, є конструкція, що передбачає розміщення на роторі конденсаторів однакової ємності. Однак для неї експериментально встановлено, що ефект від резонансного явища забезпечує досить вузький інтервал дії (див. рис. 1.7). З цієї причини її використання у

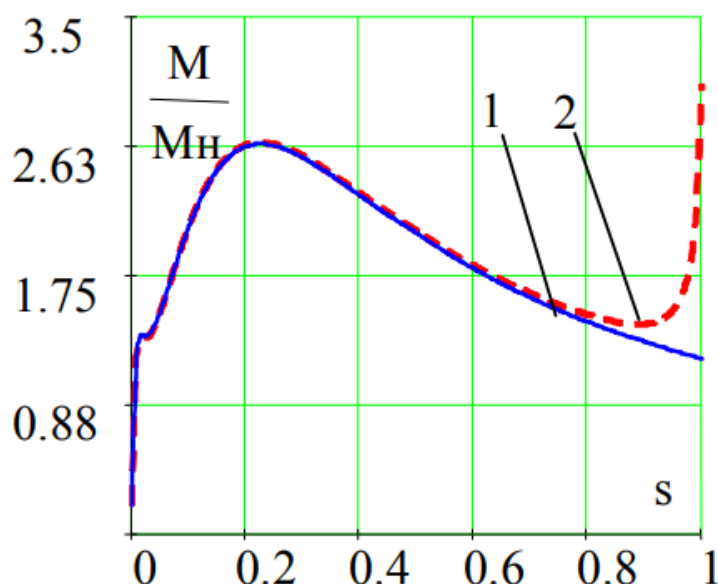


Рис.1.7 - Пускові характеристики двигуна: 1 – природна; 2 – штучна

промисловості є ускладненим. Аналіз пускових характеристик двигуна із запропонованою конструкцією розщепленої обмотки збудження виявив, що причиною завужених інтервалів дії резонансного явища є висока добротність контуру збудження. Тому для забезпечення більш придатної форми механічної характеристики і їх практичного використання у промисловості пропонується зменшити добротність системи шляхом уведення у кожний ланцюг із конденсатором послідовно увімкнених опорів (рис. 1.8).

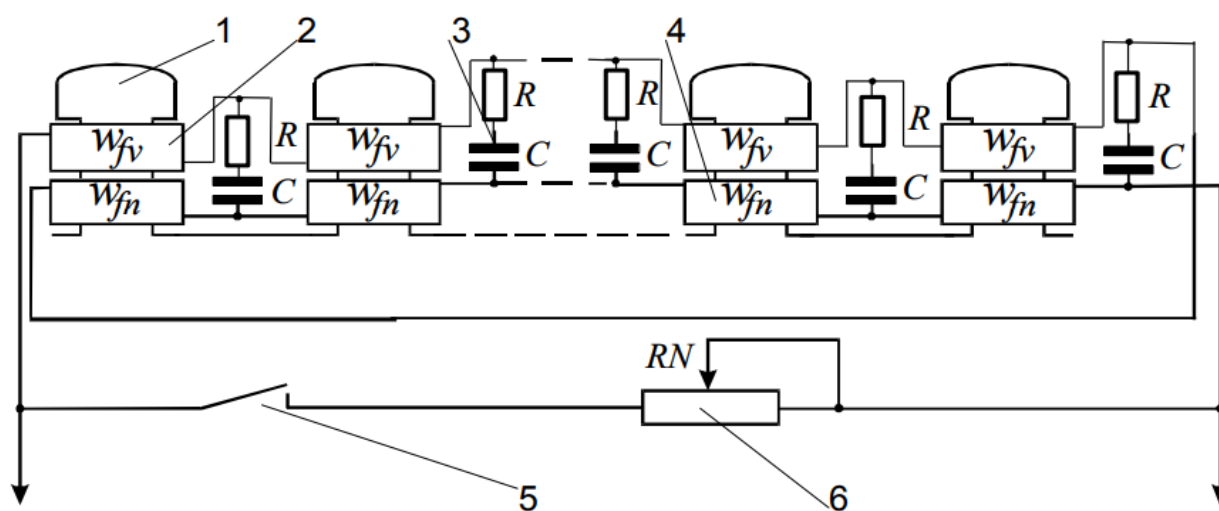


Рис.1.8 - Розрахункова схема обмотки збудження з поперечними RC – колами: 1 – полюс ротора; 2 – верхня напівкатушка полюса; 3 – конденсатор C , активний опір R ; 4 – нижня напівкатушка полюса; 5 – керований ключ; 6 – розрядний опір

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі :

- розробка математичної моделі електромеханічної системи задля дослідження пускових характеристик приводу млина;
- відпрацювання пускової характеристики млина самоподрібнення;
- пошук параметрів RC полюсного ланцюга, який забезпечить потрібні пускові властивості синхронного приводу.

Висновки

Покращання показників привода таких як його спрощення, підвищення надійності та економічності можливе за одночасного підвищення швидкості обертання та моменту опору млинів, а також забезпечення плавності зміни динамічного моменту двигуна протягом усього терміну пуску. В результаті підвищиться одинична потужність млина, обладнана високоефективним приводом, який знизить питомі витрати електроенергії на подрібнення.

Синхронні приводи можливо покращити шляхом використання резонансних явищ в обмотках збудження, оскільки при цьому з'являються можливості одночасного збільшення пускового моменту та зниження пускового струму. При цьому обмотки збудження повинні бути розщепленими і мати власну, або зовнішню ємність, а наявність у полюсних контурах активного опору зменшить його добротність і відповідно розширить інтервал дії резонансу. Використання ефекту резонансу додатково в обмотці збудження може значно покращити загальний $\cos\phi$ двигуна у пусковому режимі.

Повна або часткова компенсація індуктивної складової струмів пускової обмотки двигуна та обмотки статора досягається за відповідної ємності конденсаторів, що покращує форму механічної характеристики двигуна.

При використанні резонансних явищ в обмотці збудження корисно одночасно регулювати напругу на статорі, наприклад тиристорним регулятором, що при умові обмеження асинхронного моменту дозволить додатково знизити пусковий струм у зоні підвищеного ковзання.

					ЕП.МР.20.02.01.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

2.1. Модель синхронного двигуна в осях d-q.

Традиційно оцінка пускових властивостей синхронних двигунів визначається формою статичних механічних та електромеханічних характеристик, які визначають за допомогою рівнянь трансформаторних зв'язків, котрим відповідає спрощена схема заміщення в осях d , q (рис.2.1). Реактивний опір ланцюга збудження схеми на рис.2.1, а без урахування диференційного розсіювання

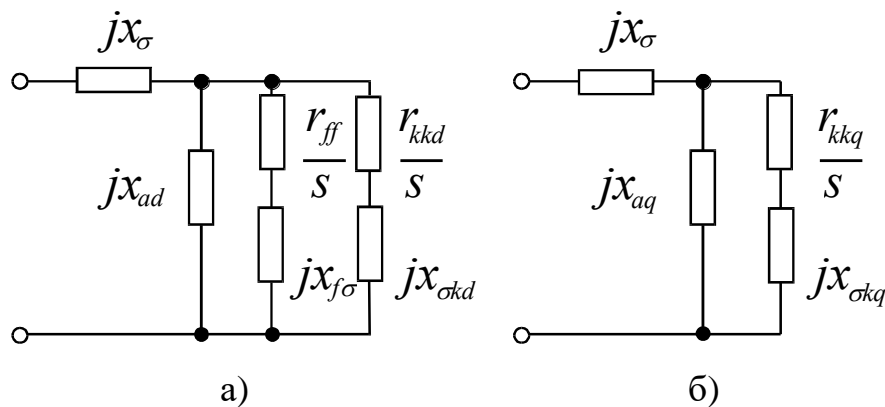


Рис.2.1 - Схеми заміщення синхронного двигуна:

(а) по осі d ; (б) по осі q .

синхронного двигуна визначають як:

$$x_{f\sigma} = 2p\mu_0 w_f^2 l \lambda_f \frac{m_{zf}}{L_0}, \quad (2.1)$$

де, $2p$ – число пар полюсів;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнітна стала, Гн/м;

w_f – число витків котушки полюса;

l – товщина пакета сталі, м;

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

λ_f – питома провідність розсіювання обмотки збудження;

m_{zf} – коефіцієнт приведення опору обмотки збудження;

L_0 – базова індуктивність, Гн.

З приведенного виразу видно, що для визначення повного реактивного опору ротора необхідно скласти суму всіх його складових.

Для розщепленої обмотки збудження, електрична схема якої змінена (рис.1.8), визначати реактивний опір так, як у випадку традиційної конструкції обмотки збудження неможливо. Тому для дослідження пускових властивостей приводу млина потрібно залучити відмінну методику розрахунку нової системи збудження.

2.2. Реактивний опір розщепленої обмотки.

Для визначення реактивного опору обумовленого основним магнітним потоком і потоком розсіювання використовуємо традиційну систему відносних одиниць, в якій за базові одиниці прийняті:

I_B – амплітудне значення фазного струму, А;

U_B – амплітудне значення фазної напруги статора, В;

$\omega_B = 2\pi f$ – синхронна колова частота, с⁻¹;

$\Omega_B = \omega_B / p$ – частота обертання ротора, с⁻¹;

$P_B = \sqrt{3}U_H I_H$ – номінальна потужність, Вт;

$M_B = P_B p / \omega_B$ – номінальний момент, Н·м;

$Z_B = U_B / I_B = \frac{3(wk_{об.1})^2 \mu_0 \tau l \omega_B F_\delta k_f}{2\pi r \delta k_\delta F_a}$ – базовий опір, Ом;

$L_B = Z_B / \omega_B = \frac{3(wk_{об.1})^2 \mu_0 \tau l F_\delta k_f}{2\pi r \delta k_\delta F_a}$ – базова індуктивність, Гн;

$\Psi_B = U_B / \omega_B$ – базове потокозчеплення, Вб;

$t_B = 1 / \omega_B$ – базовий час, с;

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

I_H и U_H – номінальний струм та напруга обмотки статора;

p – число пар полюсів;

$f = 50$ – частота живлячої мережі, Гц.

Приведення роторних обмоток до обмотки статора виконано з урахуванням коефіцієнтів:

$$m_{if} = \frac{3wk_{об.1}k_{ad}}{2\pi p w_f}; \quad m_{Uf} = \frac{2}{3}m_{if}; \quad m_{Zf} = m_{if}m_{Uf}, \quad (2.2)$$

де, m_{if} – коефіцієнт приведення струму обмотки збудження;

m_{Uf} – коефіцієнт приведення напруги обмотки збудження;

m_{Zf} – коефіцієнт приведення опору обмотки збудження;

w, w_f – кількість витків фази статора та полюсної напівкатушки ротора;

k_{ad} – коефіцієнти реакції якоря по поздовжній осі;

$k_{об.1}$ – коефіцієнт обмотки статора.

При цьому для демпферної обмотки використані наступні коефіцієнти:

$$m_{ikd} = \frac{4}{\pi} \frac{3}{2} \frac{wk_{об.1}k_d}{2pw_{эд}k_{kd}}; \quad m_{ikq} = \frac{4}{\pi} \frac{3}{2} \frac{wk_{об.1}k_q}{2pw_{эq}k_{kq}}; \quad (2.3)$$

$$m_{Ukd} = \frac{4}{\pi} \frac{wk_{об.1}k_d}{2pw_{эд}k_{kd}}; \quad m_{Ukq} = \frac{4}{\pi} \frac{wk_{об.1}k_q}{2pw_{эq}k_{kq}}$$

де, m_{ikd} – коефіцієнт приведення струму поздовжній осі;

m_{Ukd} – коефіцієнт приведення напруги поздовжній осі;

m_{ikq} – коефіцієнт приведення струму по поперечній осі;

m_{Ukq} – коефіцієнт приведення напруги в поперечній осі;

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$w_{\Delta d}$ – еквівалентна кількість витків демпферної обмотки на полюс по поздовжній осі;

$w_{\Delta q}$ – еквівалентна кількість витків демпферної обмотки на полюс по поперечній осі;

k_{kd} – коефіцієнт форми поля демпферної обмотки по поздовжній осі;

k_{kq} – коефіцієнт форми поля демпферної обмотки по поперечній осі;

k_d – коефіцієнт форми поля обмотки статора по поздовжній осі;

k_q – коефіцієнт форми поля обмотки статора по поперечній осі.

Дослідження виконані при наступних припущеннях:

– обмотки статора і ротора взаємодіють між собою тільки за рахунку основної гармоніки МДС;

– сума витків w_{fv} та w_{fn} котушок полюса розщепленої обмотки дорівнює кількості витків котушки полюса звичайної обмотки збудження;

– облік насичення магнітних кіл не здійснювався;

– напруга мережі в режимі пуску дорівнює номінальній.

Параметри розщепленої обмотки збудження визначаємо в два етапи. На першому етапі визначаємо складові реактивностей, обумовлені основним магнітним потоком, а на другому - потоками розсіювання.

Реактивний опір від основного магнітного потоку

Враховуючи, що взаємодія статора з верхньою котушкою i -го полюса характеризується амплітудою основної гармоніки магнітної індукції,

$$B_{vi} = F_{vi} \frac{\mu_0}{\delta k_{\delta}} k_f = w_{fv} I_{vi} \frac{\mu_0}{\delta k_{\delta}} k_f, \text{ Тл}, \quad (2.4)$$

При якій магнітний потік буде дорівнювати:

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi_{vi} = \frac{2}{\pi} B_{vi} l \tau = \frac{2}{\pi} I_{vi} \frac{\mu_0 \tau l}{\delta k_{\delta}} k_f w_{fv}, \text{ Вб}, \quad (2.5)$$

де, I_{vi} – діючий струм верхньої котушки, А;

τ – полюсне ділення, м;

l – довжина активної частини статора, м;

δ – повітряний зазор, м;

k_{δ} – коефіцієнт нерівномірності повітряного зазору;

k_f – коефіцієнт форми поля обмотки збудження.

Потокозчеплення обмотки статора з верхньою котушкою розщепленої обмотки, що визначається за формулою:

$$\Psi_{avi} = \frac{w k_{об.1}}{2p} \Phi_{vi}, \text{ Вб} \quad (2.6)$$

Визначає їх взаємну індуктивність:

$$M_{avi} = \frac{\Psi_{avi}}{I_{vi}} = \frac{2}{\pi} \frac{w w_{fv} k_{об.1}}{2p} \frac{\mu_0 l \tau}{\delta k_{\delta}} k_f, \text{ Гн}, \quad (2.7)$$

Та реактивний опір від розглянутої магнітної взаємодії:

$$x_{afvi} = \frac{M_{avi} m_{if}}{L_B} = \frac{1}{\pi p} \frac{F_a k_d}{F_{\delta} k_f}, \text{ в.о.}, \quad (2.8)$$

де, F_a – МДС обмотки статора по прямокутній хвилі на один полюс, А;

F_{δ} – МДС повітряного зазору на один полюс, А;

k_d – коефіцієнт форми поля по поздовжній осі.

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи те, що традиційно реактивний опір реакції якоря по поздовжній осі визначають як:

$$x_{ad} = \frac{4 F_a k_d}{\pi F_\delta k_f}, \text{ в.о.}, \quad (2.9)$$

Тоді вираз (2.8) взаємного магнітного впливу верхньої котушки полюса та статора спрощується та матиме вигляд:

$$x_{afvi} = \frac{x_{ad}}{4p}, \text{ в.о.} \quad (2.10)$$

Подібним чином знаходимо реактивний опір взаємодії нижньої котушки зі статором:

$$x_{afni} = \frac{x_{ad}}{4p}, \text{ в.о.} \quad (2.11)$$

Взаємо індуктивність демпферної обмотки і верхньої полюсної котушки визначається відношенням потокозчеплення $\Psi_{kdvi} = w_{\delta d} \Phi_{vi}$ та струму I_{vi} :

$$M_{kdvi} = \frac{2}{\pi} w_{\delta d} w_{fv} \frac{\mu_0 l \tau}{\delta k_\delta} k_f, \text{ Гн.} \quad (2.12)$$

З урахуванням того, що коефіцієнти $k_{kd} = k_f$, $k_{ad} = k_d / k_{kd}$, а реакції якоря x_{ad} та взаємоіндуктивність M_{kdvi} відомі, реактивний опір від магнітного зв'язку між демпферною обмоткою та верхньою котушкою полюса визначаємо за формулою:

$$x_{fkdivi} = \frac{x_{ad}}{\pi p} k_{ad}, \text{ в.о.} \quad (2.13)$$

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для нижніх та верхніх полюсних котушок магнітні взаємодії з демпферною обмоткою однакові з огляду на те, що зв'язок між ними здійснюється за рахунок одного і того ж потоку:

$$x_{fkdni} = x_{fkdivi}, \text{ в.о.} \quad (2.14)$$

Власний магнітний вплив котушок одного полюса визначається потокозчепленням $\Psi_{vn\delta i} = w_{fn} \Phi_{vi} k_{\phi}$. З урахуванням вище знайденого потоку Φ_{vi} знаходимо індуктивність:

$$M_{vn\delta i} = \frac{2}{\pi} w_{fv} w_{fn} \frac{\mu_0 l \tau}{\delta k_{\delta}} k_f k_{\phi}, \text{ Гн,} \quad (2.15)$$

де, k_{ϕ} – коефіцієнт пропорційності між першою гармонікою потоку та його максимальним значенням.

При цьому реактивний опір шуканої взаємодії визначена шляхом приведення отриманого виразу до обмотки статора та переводу отриманого результату в відносні одиниці.

$$x_{vn\delta i} = M_{vn\delta i} \frac{m_{zf}}{L_B} = \frac{x_{ad}}{2\pi p} k_{ad} k_{\phi}, \text{ в.о.} \quad (2.16)$$

Обидві полюсні котушки розщепленої обмотки збудження мають рівну кількість витків та зчеплені між собою потоком Φ_{vi} . Це дозволяє для визначення індуктивності та реактивного опору котушок одного полюса використовувати вирази:

$$x_{v\delta} = L_{vi\delta} \frac{m_{zf}}{L_B} = \frac{x_{ad}}{2\pi r} k_{ad} k_{\phi}, o.e.; \quad (2.17)$$

$$x_{n\delta} = L_{ni\delta} \frac{m_{zf}}{L_B} = \frac{x_{ad}}{2\pi r} k_{ad} k_{\phi}, o.e.,$$

де, $L_{vi\delta}, L_{ni\delta}$ – індуктивності самоіндукції верхньої та нижньої полюсних котушок

Реактивний опір від потоків розсіювання

Згідно вище сказаного на другому етапі визначаємо реактивні параметри розсіювання, зумовлені диференціальною та міжполюсною складовими потоку розсіювання. Реактивний опір диференційного розсіювання визначається як різниця між опором від повного магнітного потоку машини та реакцією якоря. Оскільки нова полюсна котушка складається з двох однакових частин, а магнітне вплив від диференціального розсіювання, як правило, розраховується на всю обмотку, то для однієї котушки (верхньої або нижньої):

$$x_{gvi} = x_{afvi} (k_{ad} k_{\phi} - 1), o.e.; \quad (2.18)$$

$$x_{gni} = x_{afni} (k_{ad} k_{\phi} - 1), o.e.,$$

де, x_{gvi}, x_{gni} – опір диференційного розсіювання котушок. Для отриманих в індуктивностей від міжполюсного розсіювання в роботі, були визначені визначені реактивні опори, в.о.:

$$x_{\Sigma}^v = L_{\Sigma}^v \frac{m_{zf}}{L_B} \text{ – власний опір верхньої котушки;}$$

$$x_{\Sigma}^n = L_{\Sigma}^n \frac{m_{zf}}{L_B} \text{ – власний опір нижньої котушки;}$$

									ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
										28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$x_{\Sigma}^{vn} = M_{\Sigma}^{vn} \frac{m_{zf}}{L_B} \text{ – опір взаємного впливу котушок одного полюса};$$

$$x_{\Sigma}^{vv} = 0,5L_{\Sigma}^v \frac{m_{zf}}{L_B} \text{ – опір впливу верхніх котушок сусідніх полюсів};$$

$$x_{\Sigma}^{nn} = 0,5L_{\Sigma}^n \frac{m_{zf}}{L_B} \text{ – опір впливу нижніх котушок сусідніх полюсів};$$

$$x_{\Sigma}^{per} = 0,5M_{\Sigma}^{vn} \frac{m_{zf}}{L_B} \text{ – перехресний вплив верхньої і нижньої котушок}$$

сусідніх полюсів.

Повні реактивні опори котушок

Повні реактивні опори від магнітної взаємодії котушок одного полюса визначаються сумою складових від основного магнітного потоку та потоків розсіювання:

$$x_{Lv} = x_{v\delta i} + x_{\Sigma}^v + x_{gvi}; \quad x_{Ln} = x_{n\delta i} + x_{\Sigma}^n + x_{gni}; \quad (2.19)$$

$$x_{Mvn} = x_{vn\delta i} + x_{\Sigma}^{vn} + x_{gni}.$$

Реактивний опір від магнітного взаємодії котушок сусідніх полюсів визначаються тільки потоками розсіювання, отже:

$$x_{Mvv} = x_{\Sigma}^{vv}; \quad x_{Mnn} = x_{\Sigma}^{nn}; \quad x_{Mper} = x_{\Sigma}^{per}. \quad (2.20)$$

2.3. Розв'язка магнітних зв'язків.

Відповідно до викладених вище особливостей конструкції, схеми з'єднань та магнітних зв'язків котушок полюсної системи, вихідна розрахункова схема

для визначення параметрів розщепленої обмотки збудження набуває вигляду (рис.2.2). Видно, що схему можна представити у вигляді двох ділянок - внутрішнього проміжного, що повторюються та зовнішнього, приєднаного до зовнішніх розрядних резисторів RV , RN . Розглянемо внутрішній i -й фрагмент першої ділянки (рис.2.3) з умовними позначеннями:

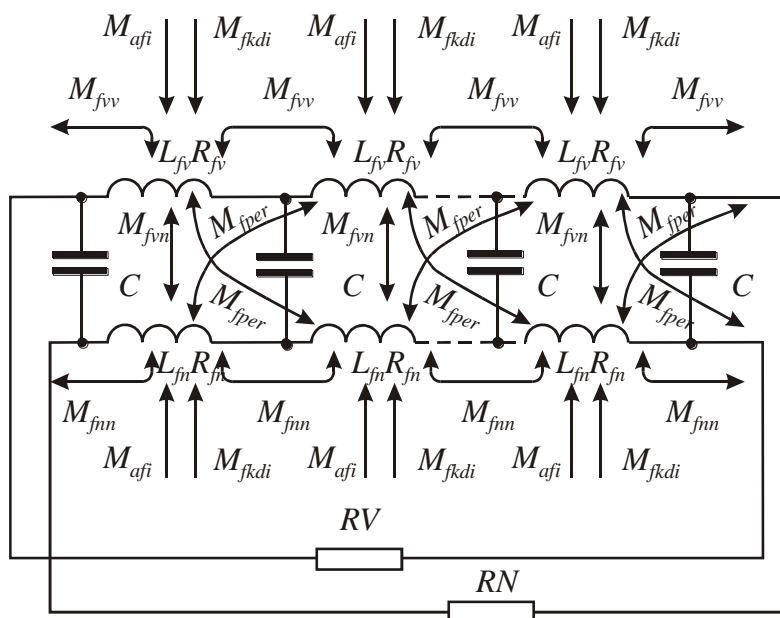


Рис.2.2 - Вихідна розрахункова схема розщепленої обмотки збудження з конденсаторами однаковою ємності.

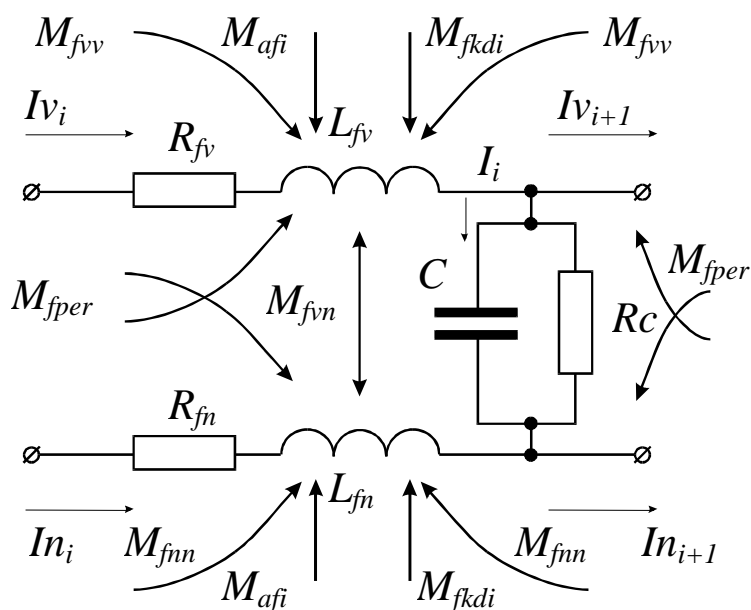


Рис.2.3 - Схема i -го елемента полюсної катушки, Гн;

R_{fv}, R_{fn} – активні опори відповідно верхньої та нижньої котушок полюса ротора, Ом;

$$L_{fv} = x_{Lv} \frac{L_B}{m_{zf}} \text{ – індуктивність самоіндукції верхньої котушки, Гн;}$$

$$L_{fn} = x_{Ln} \frac{L_B}{m_{zf}} \text{ – індуктивність самоіндукції нижньої котушки, Гн;}$$

C – ємність конденсатора для і-го елемента схеми, Ф;

R_c – активний опір для і-го елемента схеми, Ом;

$$M_{fvn} = x_{Mvn} \frac{L_B}{m_{zf}} \text{ – взаємо індуктивність котушок одного полюса, Гн;}$$

$$M_{fvv} = x_{Mvv} \frac{L_B}{m_{zf}} \text{ – взаємо індуктивність верхніх котушок сусідніх}$$

полюсів, Гн;

$$M_{fnn} = x_{Mnn} \frac{L_B}{m_{zf}} \text{ – взаємо індуктивність нижніх котушок сусідніх}$$

полюсів, Гн;

$$M_{fper} = x_{Mper} \frac{L_B}{m_{zf}} \text{ – взаємо індуктивність перехресного впливу котушок}$$

сусідніх полюсів, Гн;

$$M_{fkdi} = x_{fkdivi} \frac{L_B}{m_{if} m_{Ukd}} \text{ – взаємо індуктивність демпферної обмотки і}$$

полюсної котушки, Гн;

$$M_{afi} = x_{afvi} \frac{L_B}{m_{if}} \text{ – взаємо індуктивність статора та полюсної котушки, Гн;}$$

I_{kd} – струм демпферної обмотки, А;

I_d – струм в обмотці статора, А;

I_{vi}, I_{ni}, I_i – струми в і-м елементі (відповідно в верхніх, нижніх та поперечних гілках), А.

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи схему на рис.2.3, визначаємо падіння напруги на котушках:

$$\begin{aligned}
 U_{v_i} &= R_{fv} I_{v_i} + L_{fv} p I_{v_i} + M_{fvn} p I_{n_i} + M_{fvv} p I_{v_{i+1}} + M_{fvv} p I_{v_{i-1}} + \rightarrow \\
 &\rightarrow + M_{fper} p I_{n_{i+1}} + M_{fper} p I_{n_{i-1}} + M_{fkdi} p I_{kd} + \frac{3}{2} M_{afi} p I_d;
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

$$\begin{aligned}
 U_{n_i} &= R_{fn} I_{n_i} + L_{fn} p I_{n_i} + M_{fvn} p I_{v_i} + M_{fnn} p I_{n_{i+1}} + M_{fnn} p I_{n_{i-1}} + \rightarrow \\
 &\rightarrow + M_{fper} p I_{v_{i+1}} + M_{fper} p I_{v_{i-1}} + M_{fkdi} p I_{kd} + \frac{3}{2} M_{afi} p I_d,
 \end{aligned}$$

де $p = j\omega_B s$ – оператор Лапласа; s – ковзання.

Виходячи з умови, що сума струмів котушок довільного внутрішнього контуру постійна,

$$2I_f = I_{v_i} + I_{n_i} = I_{v_{i+1}} + I_{n_{i+1}} = I_{v_{i-1}} + I_{n_{i-1}}, \tag{2.22}$$

замінімо струми нижніх гілок на струми верхніх за вирахуванням струму нерозгалужених частин схеми:

$$\begin{aligned}
 U_{v_i} &= R_{fv} I_{v_i} + p(L_{fv} + M_{fvn}) I_{v_i} + p(M_{fvv} - M_{fper}) I_{v_{i-1}} + p(M_{fvv} - \rightarrow \\
 &\rightarrow - M_{fper}) I_{v_{i+1}} + 2p(M_{fvn} + 2M_{fper}) I_f + pM_{fkdi} I_{kd} + \frac{3}{2} pM_{afi} I_d;
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

$$\begin{aligned}
 U_{n_i} &= R_{fn} I_{n_i} + p(L_{fn} - M_{fvn}) I_{n_i} + p(M_{fnn} - M_{fper}) I_{n_{i-1}} + p(M_{fnn} - \rightarrow \\
 &\rightarrow - M_{fper}) I_{n_{i+1}} + 2p(M_{fvn} + 2M_{fper}) I_f + pM_{fkdi} I_{kd} + \frac{3}{2} pM_{afi} I_d;
 \end{aligned}$$

$$I_{vi} = 2I_f - I_{ni}; \quad I_{ni} = 2I_f - I_{vi};$$

де

$$I_{v_{i-1}} = 2I_f - I_{n_{i-1}}; \quad I_{n_{i-1}} = 2I_f - I_{v_{i-1}}; \quad (2.24)$$

$$I_{v_{i+1}} = 2I_f - I_{n_{i+1}}; \quad I_{n_{i+1}} = 2I_f - I_{v_{i+1}}.$$

Для зручності подальших перетворень вводимо проміжні позначення,

$$M_v = M_{fvv} - M_{fper}; \quad L_v = L_{fv} - M_{fvn};$$

$$M_n = M_{fnn} - M_{fper}; \quad L_n = L_{fn} - M_{fvn}; \quad (2.25)$$

$$R_v = R_{fv}; \quad R_n = R_{fn},$$

а вплив статорної та демпферної обмотки на котушки збудження представимо у вигляді ЕРС:

$$E = -(2p(M_{fvn} + 2M_{fper})I_f + pM_{fkdi}I_{kd} + \frac{3}{2}pM_{afi}I_d). \quad (2.26)$$

У зв'язку з повторюваністю елементів першої(внутрішньої) ділянки схеми збудження (див. рис.2.2) для його і-того елемента справедливі рівняння,

$$U_{vi} = (R_v + pL_v)I_{vi} + pM_v I_{v_{i-1}} + pM_v I_{v_{i+1}} - E; \quad (2.27)$$

$$U_{ni} = (R_n + pL_n)I_{ni} + pM_n I_{n_{i-1}} + pM_n I_{n_{i+1}} - E,$$

що дозволило отримати розрахункову схему на рис.2.4 з частковим розв'язанням магнітних зв'язків.

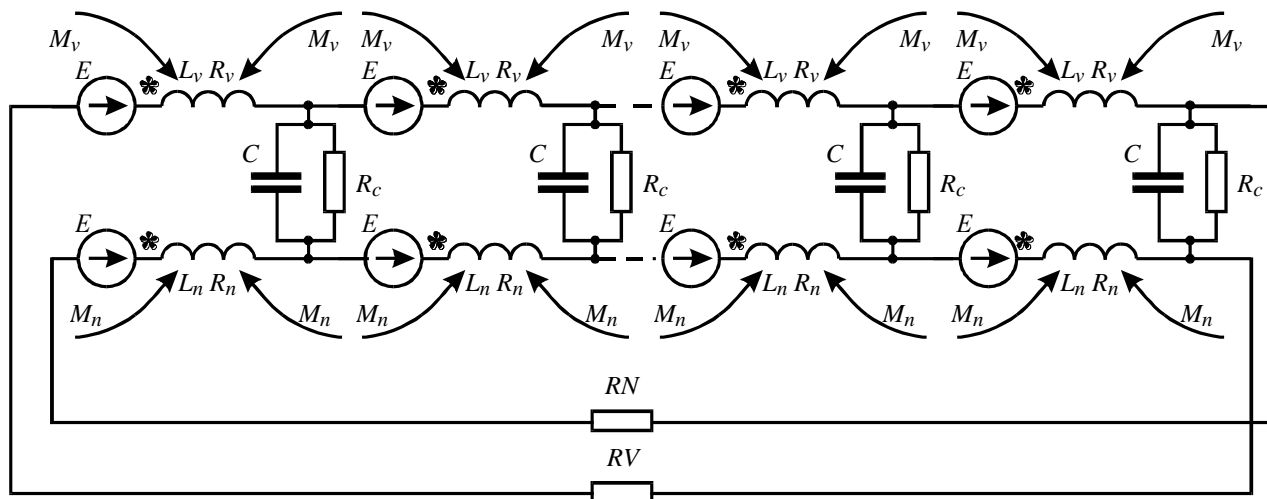


Рис.2.4 - Розрахункова схема після часткового розв'язання магнітних зв'язків.

Для повного виключення магнітних зв'язків між котушками полюсної системи попередньо враховуємо, що напруга на конденсаторі i -того елемента ділянки на рис.2.5, буде мати вигляд:

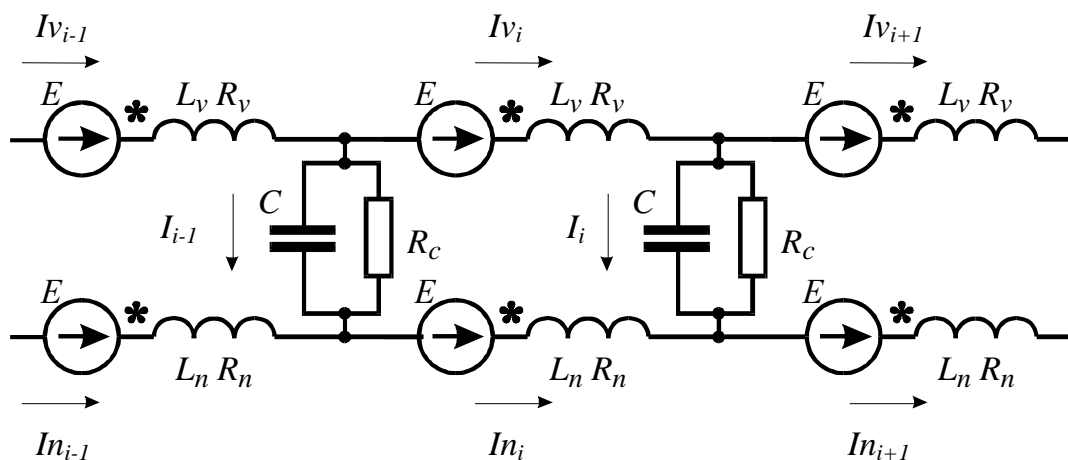


Рис.2.5 - Фрагмент схеми внутрішнього контура для визначення напруги на конденсаторах.

$$U^c_i = \frac{1}{C} \int I_i^c dt = R_c I_i^r, \quad (2.28)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

де I_i^c , I_i^r струми в конденсаторах C та опорах R_c , А;

$I_{v_i}, I_{v_{i-1}}, I_{v_{i+1}}$ – струми верхніх гілок схеми, А;

$I_{n_i}, I_{n_{i-1}}, I_{n_{i+1}}$ – струми нижніх гілок схеми, А.

Приймаючи, що $I_i = I_i^c + I_i^r$, після ряду перетворень отримуємо напругу на i -тому конденсаторі в операторній формі

$$U^c_i = \frac{R_c}{1 + pR_c C} I_i. \quad (2.29)$$

За другим законом Кірхгофа для i -того елемента рис.2.5 справедливо:

$$R_v I_{v_i} + pL_v I_{v_i} + pM_v I_{v_{i-1}} + pM_v I_{v_{i+1}} + \frac{R_c}{1 + pR_c C} I_i \rightarrow \quad (2.30)$$

$$\rightarrow -(R_n I_{n_i} + pL_n I_{n_i} + pM_n I_{n_{i-1}} + pM_n I_{n_{i+1}}) - \frac{R_c}{1 + pR_c C} I_{i-1} = 0.$$

Ввівши позначення для комплексних опорів,

$$\dot{Z}_{fv} = R_v + p(L_v + 2M_v);$$

$$\dot{Z}_{fn} = R_n + p(L_n + 2M_n);$$

(2.31)

$$\dot{Z}_c = \frac{R_c}{1 + pR_c C};$$

$$\dot{Z}_k = \dot{Z}_c - p(M_v + M_n),$$

та замінивши струми сусідніх елементів на струми i -тих, отримуємо комплексну форму рівняння (2.30) у вигляді:

$$\dot{Z}_{fv} \dot{I}_{v_i} + \dot{Z}k \dot{I}_i - \dot{Z}_{fn} \dot{I}_{n_i} - \dot{Z}k \dot{I}_{i-1} = 0, \quad (2.32)$$

що дозволило отримати схему на рис.2.6.

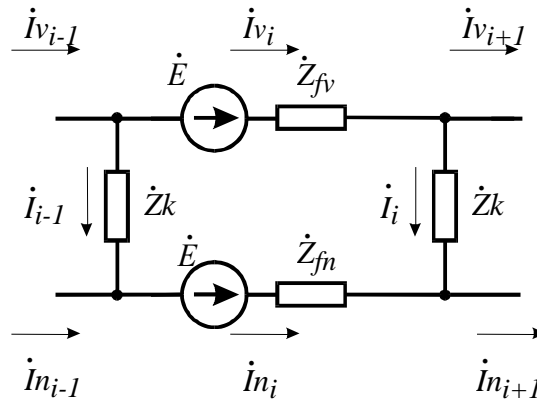


Рис.2.6 - Розрахункова схема і-го елемента обмотки збудження.

Використовуючи перший і другий закони Кірхгофа для схеми на рис.2.6, розв'язуємо магнітні зв'язки, що залишилися між 1-м і 2р-м контуром. отримуємо рівняння:

$$\begin{aligned} & RV \cdot I_{v_1} + R_v I_{v_1} + pL_v I_{v_1} + pM_v I_{v_{2p}} + pM_v I_{v_2} + \frac{R_c}{1 + pR_c C} I_1^- \rightarrow \\ & \rightarrow -(RN \cdot I_{n_1} + R_n I_{n_1} + pL_n I_{n_1} + pM_n I_{n_{2p}} + pM_n I_{n_2}) - \frac{R_c}{1 + pR_c C} I_{2p} = 0; \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\begin{aligned} & R_v I_{v_{2p}} + pL_v I_{v_{2p}} + pM_v I_{v_{2p-1}} + pM_v I_{v_1} + \frac{R_c}{1 + pR_c C} I_{2p}^- \rightarrow \\ & \rightarrow -(R_n I_{n_{2p}} + pL_n I_{n_{2p}} + pM_n I_{n_{2p-1}} + pM_n I_{n_1}) - \frac{R_c}{1 + pR_c C} I_{2p-1} = 0. \end{aligned}$$

Провівши заміну:

$$I_{v2} = I_{v1} - I_1; \quad I_{n2} = I_{n1} + I_1; \quad I_{v2p} = I_{n1} + I_{2p}; \quad I_{n2p} = I_{v1} - I_{2p}, \quad (2.34)$$

І ввівши комплексні: значення опорів:

$$\dot{Z}_{fv1} = R_v + j\omega_{\delta}s(L_v + M_v - M_n);$$

$$\dot{Z}_{fn1} = R_n + j\omega_{\delta}s(L_n + M_n - M_v); \quad (2.35)$$

$$\dot{Z}_{k1} = \dot{Z}_c + j\omega_{\delta}s(M_v + M_n),$$

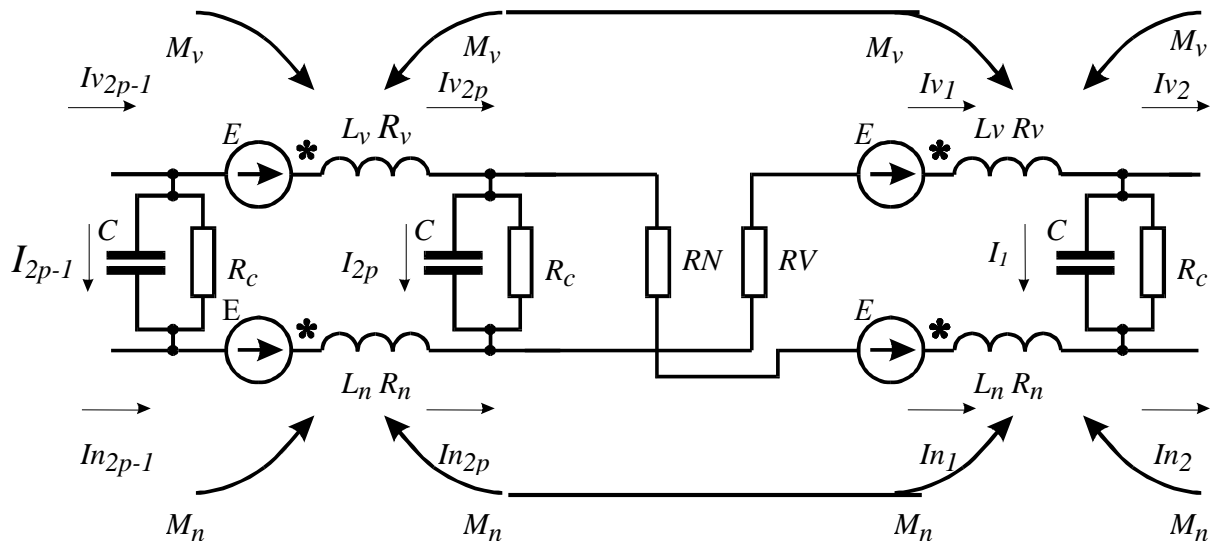


Рис.2.7 - Фрагмент схеми збудження при частковому розв'язанні магнітних зв'язків 1-го і 2-го контуру.

Для схеми на рис.2.7, отримуємо рівняння виду:

$$(RV + \dot{Z}_{fv1})\dot{I}_{v1} + \dot{Z}_{k1}\dot{I}_1 - (RN + \dot{Z}_{fn1})\dot{I}_{n1} + \dot{Z}_{k1}\dot{I}_{2p} = 0; \quad (2.36)$$

$$\dot{Z}_{fv1}\dot{I}_{v2p} + \dot{Z}_{k1}\dot{I}_{2p} - \dot{Z}_{fn1}\dot{I}_{n2p} + \dot{Z}_{k1}\dot{I}_{2p-1} = 0.$$

Виконані перетворення дозволяють уявити схему на рис.2.7 у вигляді розрахункової схеми на рис.2.8. В результаті застосування теореми компенсації винесені ЕРС з кожного полюса в 1-й елемент отримана повна розрахункова схема обмотки збудження без магнітних зв'язків (рис.2.9).

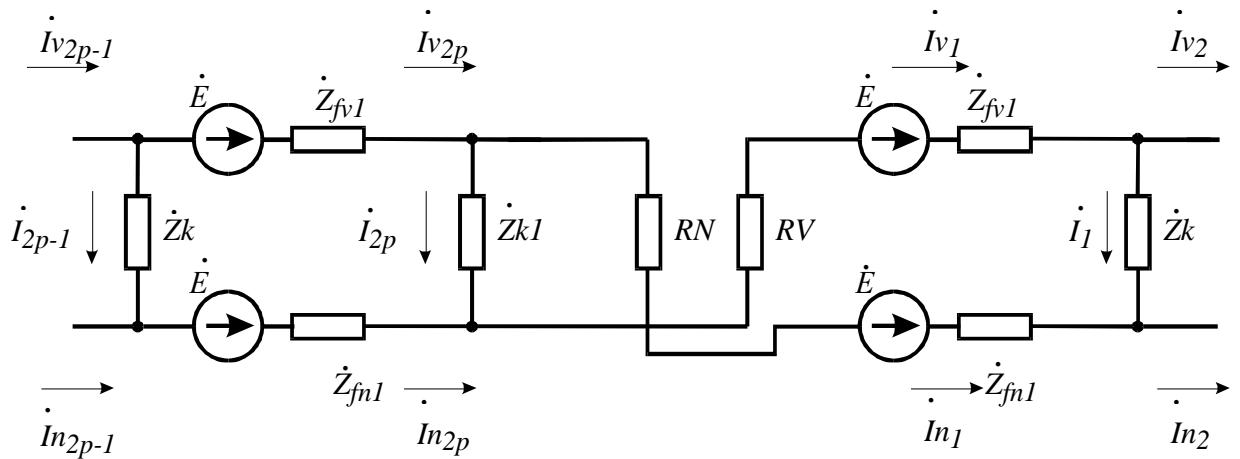


Рис.2.8 - Розрахункова схема 1-ї та 2 р-ї діляни обмотки збудження.

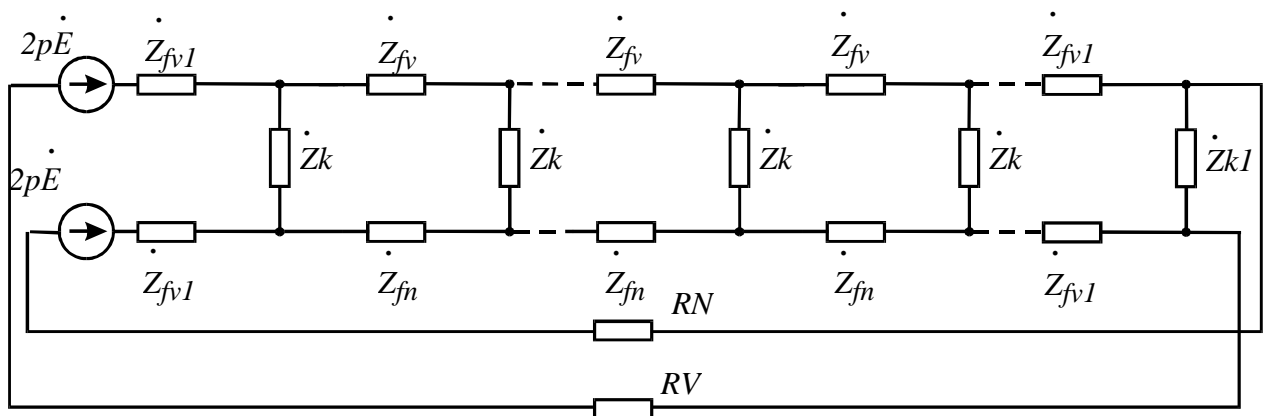


Рис.2.9 - Магнітно розв'язана розрахункова схема збудження.

Таким чином, в результаті виконаних перетворень для окремих елементів системи збудження з двома котушками на полюсах з магнітними взаємозв'язками і з урахуванням їх розв'язання в роботі отримана розрахункова схема у вигляді ланцюга однакових елементів. В подальшому це дозволило представити їх у вигляді однакових пасивних чотирьохполюсників, тобто дало можливість подальшого спрощення досліджуваної розрахункової схеми розщепленої обмотки збудження.

2.4. Визначення параметрів схеми заміщення.

Для визначення параметрів схеми заміщення розщепленої обмотки збудження необхідно виконати ряд перетворень для розрахункової схеми на рис.2.9. На початковому етапі \dot{Z}_{fv} , \dot{Z}_{fn} представляємо у вигляді двох однакових комплексних опорів:

$$\dot{Z}_{fv} = \frac{\dot{Z}_{fv}}{2}; \quad (2.37)$$

$$\dot{Z}_{fn} = \frac{\dot{Z}_{fn}}{2}.$$

Позначивши через:

$$\dot{Z}_{fv1} = \dot{Z}_{fv1} - \frac{\dot{Z}_{fv}}{2}; \quad (2.38)$$

$$\dot{Z}_{fn1} = \dot{Z}_{fn1} - \frac{\dot{Z}_{fn}}{2},$$

отримуємо розрахункову схему на рис.2.10, що містить ланцюг з однакових пасивних чотириполосників (рис.2.11), для яких згідно другого закону Кірхгофа:

$$\dot{U}_i = \dot{Z}_{fv1} \dot{I}_{v_i} + \dot{Z}_{k1} \dot{I}_i - \dot{Z}_{fn1} \dot{I}_{n_i}; \quad (2.39)$$

$$\dot{U}_{(i+1)} = -\dot{Z}_{fv1} \dot{I}_{v_{(i+1)}} + \dot{Z}_{k1} \dot{I}_i + \dot{Z}_{fn1} \dot{I}_{n_{(i+1)}}.$$

Після заміни,

$$\dot{I}_{n_i} = 2\dot{I}_f - \dot{I}_{v_i}, \quad \dot{I}_{n_{(i+1)}} = 2\dot{I}_f - \dot{I}_{v_{(i+1)}}, \quad \dot{I}_i = \dot{I}_{v_i} - \dot{I}_{v_{(i+1)}}. \quad (2.40)$$

Отримуємо рівняння:

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

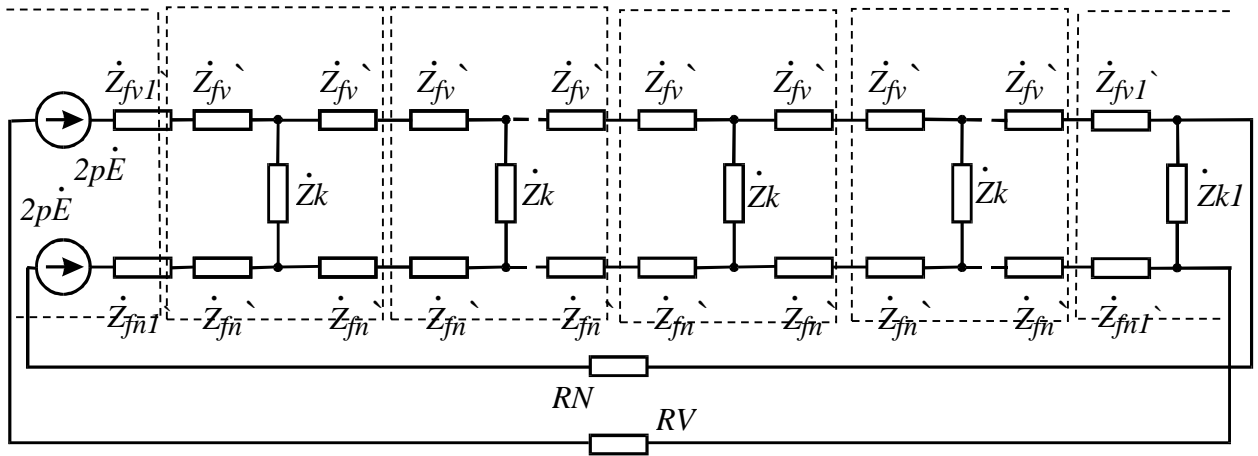


Рис.2.10 - Схема заміщення у вигляді ланцюга однакових чотириполіусників.

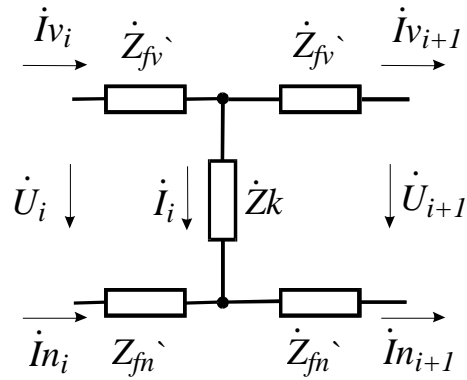


Рис.2.11 -Пасивний і-тий чотириполіусник схеми заміщення.

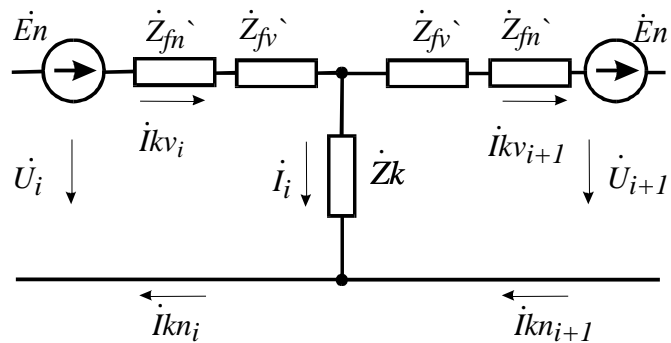


Рис.2.12 - Т-форма чотириполіусника.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$\dot{U}_i = (\dot{Z}_{fv} + \dot{Z}_{fn}) \dot{I}v_i + \dot{Z}k(\dot{I}v_i - \dot{I}v_{(i+1)}) - 2\dot{I}_f \dot{Z}_{fn}; \quad (2.41)$$

$$\dot{U}_{(i+1)} = -(\dot{Z}_{fv} + \dot{Z}_{fn}) \dot{I}v_{(i+1)} + \dot{Z}k(\dot{I}v_i - \dot{I}v_{(i+1)}) + 2\dot{I}_f \dot{Z}_{fn}.$$

Після заміни суми доданків $2\dot{I}_f \dot{Z}_{fn}$ на ЭДС $\dot{E}n$ отримуємо схему рис.2.12.

При замиканні вхідних і вихідних затисків чотириполюсника на рис.2.12 справедлива система рівнянь:

$$\dot{E}n = (\dot{Z}_{fv} + \dot{Z}_{fn}) \dot{I}kv_i + \dot{Z}k(\dot{I}kv_i - \dot{I}kv_{(i+1)}); \quad (2.42)$$

$$\dot{E}n = (\dot{Z}_{fv} + \dot{Z}_{fn}) \dot{I}kv_{(i+1)} - \dot{Z}k(\dot{I}kv_i - \dot{I}kv_{(i+1)}),$$

Де струми:

$$\dot{I}kv_{i,j} = \dot{I}kv_{(i+1),j}, \quad \dot{I}kv_i = \dot{I}_f \beta, \quad \text{а } \beta = \frac{2\dot{Z}_{fn}}{\dot{Z}_{fv} + \dot{Z}_{fn}}.$$

З дослідів холостого ходу і короткого замикання для отриманої Т-форми чотириполюсника отримуємо систему:

$$\dot{U}_i = \dot{A}_I \dot{U}_{(i+1)} + \dot{B}_I (\dot{I}v_{(i+1)} - \dot{I}kv_{(i+1)}); \quad (2.43)$$

$$\dot{I}v_{(i+1)} - \dot{I}kv_{(i+1)} = \dot{C}_I \dot{U}_{(i+1)} + \dot{D}_I (\dot{I}v_{(i+1)} - \dot{I}kv_{(i+1)}),$$

де,

$$\dot{A}_I = 1 + \frac{\dot{Z}_{fv} + \dot{Z}_{fn}}{\dot{Z}k}; \quad \dot{C}_I = \frac{1}{\dot{Z}k}; \quad (2.44)$$

$$\dot{B}_I = (\dot{Z}_{fv} + \dot{Z}_{fn}) \left(2 + \frac{\dot{Z}_{fv} + \dot{Z}_{fn}}{\dot{Z}k} \right); \quad \dot{D}_I = \dot{A}_I.$$

Для еквівалентної по довжині лінії довжиною l , коефіцієнтом розподілу γ і хвильовим опором $Z_{\check{e}}$ чотириполосник має однакові параметри $\dot{A}_1, \dot{B}_1, \dot{C}_1, \dot{D}_1$.

При цьому:

$$\begin{aligned} \dot{A}_1 = \dot{D}_1 = ch(\gamma l); & \quad \dot{C}_1 = \frac{sh(\gamma l)}{\dot{Z}_{\check{e}}}; \\ \dot{B}_1 = \dot{Z}_{\check{e}} \cdot sh(\gamma l); & \quad \dot{Z}_{\check{e}} = \sqrt{\frac{\dot{B}_1}{\dot{C}_1}}. \end{aligned} \quad (2.45)$$

Таким чином, всі з розглянутих чотириполосників замінені на таку ж кількість довгих ліній з однаковими параметрами. Це дозволило замінити їх однією еквівалентної з параметрами:

$$\dot{A}_2 = \dot{D}_2 = ch(N\gamma l); \quad \dot{B}_2 = \dot{Z}_{\check{e}} sh(N\gamma l); \quad \dot{C}_2 = \frac{sh(N\gamma l)}{\dot{Z}_{\check{e}}}, \quad (2.46)$$

де N – кількість чотириполосників, що замінюється.

У свою чергу, отриману довгу лінію представляємо у вигляді активного чотириполосника (рис.2.13), для якого:

$$\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2} = \frac{\dot{A}_2 - 1}{\dot{C}_2}; \quad \dot{Z}_{k2} = \frac{1}{\dot{C}_2}; \quad (2.47)$$

$$\dot{E}n_2 = \dot{I}kv_1(\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2} + \dot{Z}_{k2}) - \dot{I}kv_2p\dot{Z}_{k2} = 2\dot{I}_f\dot{\beta}(\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2}).$$

Для схеми на рис.2.13:

$$2\dot{I}_f = \dot{I}v_1 + \dot{I}n = \dot{I}v_2p + \dot{I}n_2p_1. \quad (2.48)$$

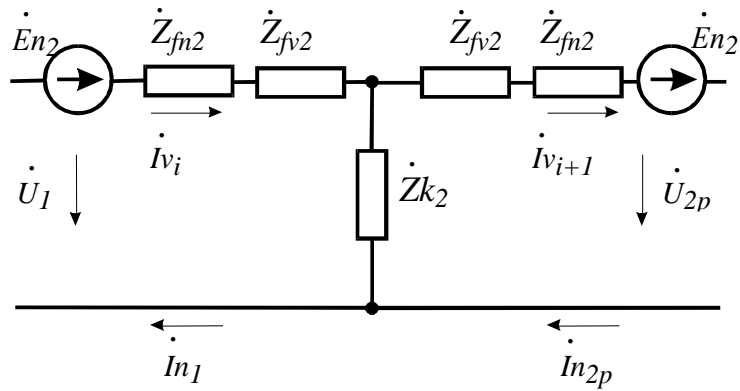


Рис.2.13 – Чотириполюсник, відповідний сумі внутрішніх контурів обмотки збудження.

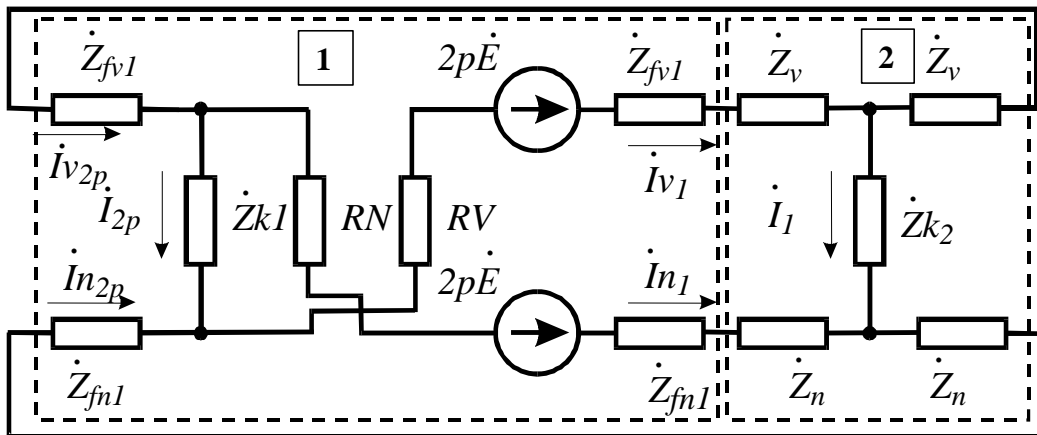


Рис.2.14 – Розрахункова схема розчепленої обмотки збудження.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$\dot{U}_1 = (\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2})\dot{I}v_1(1 - \beta) + \dot{Z}k_2(\dot{I}v_1 - \dot{I}v_{2p}) - \dot{I}n_1\dot{\beta}(\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2}); \quad (2.49)$$

$$\dot{U}_{2p} = -(\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2})\dot{I}v_{2p}(1 - \beta) + \dot{Z}k_2(\dot{I}v_1 - \dot{I}v_{2p}) + \dot{I}n_{2p}\dot{\beta}(\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2}).$$

Замінюючи:

$$(\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2})(1 - \beta) = \dot{Z}_v; \quad (2.50)$$

$$(\dot{Z}_{fv2} + \dot{Z}_{fn2})\dot{\beta} = \dot{Z}_n.$$

Отримуємо розрахункову схему на рис.4.14.

Для визначення струмів гілок цієї схеми складено рівняння напруг першого:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}v_1\dot{Z}_v + (\dot{I}v_1 - \dot{I}v_{2p})\dot{Z}k_2 - \dot{Z}_n\dot{I}n_1; \quad (2.51)$$

$$\dot{U}_{2p} = -\dot{I}v_{2p}\dot{Z}_v + (\dot{I}v_1 - \dot{I}v_{2p})\dot{Z}k_2 + \dot{Z}_n\dot{I}n_{2p}$$

та другого чотириполюсника:

$$\dot{U}_1 = -\dot{I}v_1(RV + \dot{Z}_{fv1}) - (\dot{I}v_{2p} - \dot{I}n_1)\dot{Z}k_1 + (RN + \dot{Z}_{fn1})\dot{I}n_1; \quad (2.52)$$

$$\dot{U}_{2p} = \dot{I}v_{2p}\dot{Z}_{fv1} + (\dot{I}v_{2p} - \dot{I}n_1)\dot{Z}k_1 - \dot{Z}_{fn1}\dot{I}n_{2p}.$$

Після підстановки в отримані рівняння чотириполюсників:

$$\dot{I}n_1 = 2\dot{I}_f - \dot{I}v_1; \quad (2.53)$$

$$\dot{I}n_{2p} = 2\dot{I}_f - \dot{I}v_{2p}.$$

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Та їх спільного вирішення отримуємо:

$$\begin{aligned}
 & I_{v1}(Z_v + Z_{k2} + Z_n + Z_{fv1} + Z_{k1} + Z_{fn1} + RV + RN) + \rightarrow \\
 & \rightarrow + I_{v2p}(Z_{k1} - Z_{k2}) - 2I_f(Z_n + Z_{fn1} + Z_{k1} + RN) = 0; \\
 & I_{v2p}(Z_v + Z_{k2} + Z_n + Z_{fv1} + Z_{k1} + Z_{fn1}) + I_{v1}(Z_{k1} - Z_{k2}) - \rightarrow \\
 & \rightarrow - 2I_f(Z_n + Z_{fn1} + Z_{k1}) = 0.
 \end{aligned} \tag{2.54}$$

Вирішуючи цю систему, знаходимо струми верхніх і нижніх гілок:

$$\dot{I}_{v1} = \dot{\beta}_1 \dot{I}_f; \quad \dot{I}_{n1} = 2\dot{I}_f - \dot{I}_{v1} = \dot{I}_f(2 - \dot{\beta}_1); \tag{2.55}$$

$$\dot{I}_{v2p} = \dot{\beta}_2 \dot{I}_f; \quad \dot{I}_{n2p} = 2\dot{I}_f - \dot{I}_{v2p} = \dot{I}_f(2 - \dot{\beta}_2),$$

де,

$$\begin{aligned}
 \dot{\beta}_1 &= \frac{(\dot{Z}_n + \dot{Z}_{fn1} + \dot{Z}_{k1})(\dot{Z}_{k1} - \dot{Z}_{k2}) - (\dot{Z}_n + \dot{Z}_{fn1} + \\
 & \rightarrow \frac{(\dot{Z}_{k1} - \dot{Z}_v)^2 - (\dot{Z}_v + \dot{Z}_{k2} + \dot{Z}_n + \dot{Z}_{fv1} + \dot{Z}_{k1} + \dot{Z}_{fn1} + \\
 & \rightarrow \frac{+ \dot{Z}_{k1} + RN)(\dot{Z}_v + \dot{Z}_{k2} + \dot{Z}_{fv1} + \dot{Z}_{k1} + \dot{Z}_{fn1} + \dot{Z}_n)}{+ RV + RN)(\dot{Z}_v + \dot{Z}_{k2} + \dot{Z}_n + \dot{Z}_{fv1} + \dot{Z}_{k1} + \dot{Z}_{fn1})}; \tag{2.56} \\
 \dot{\beta}_2 &= \frac{2((\dot{Z}_n + \dot{Z}_{k2} + \dot{Z}_{k1}) - \dot{\beta}_1(\dot{Z}_{k1} - \dot{Z}_{k2}))}{\dot{Z}_v + \dot{Z}_{k2} + \dot{Z}_n + \dot{Z}_{fv1} + \dot{Z}_{k1} + \dot{Z}_{fn1}}.
 \end{aligned}$$

На основі балансу потужностей для схеми на рис.4.14 знаходимо, що:

$$\begin{aligned} \sum \dot{Z}I^2 = & \dot{I}_f^2 ((RV + \dot{Z}_{fv1} + \dot{Z}_v)\beta_1^2 + (RN + \dot{Z}_{fn1} + \dot{Z}_n)(2 - \dot{\beta}_1)^2 + \rightarrow \\ & \rightarrow + (\dot{Z}_v + \dot{Z}_{fv1})\beta_{2p}^2 + (\dot{Z}_n + \dot{Z}_{fn1})(2 - \dot{\beta}_{2p})^2 + \dot{Z}_{k2}(\dot{\beta}_1 - \rightarrow \end{aligned} \quad (2.57)$$

$$\begin{aligned} & \rightarrow -\dot{\beta}_{2p})^2 + \dot{Z}_{k1}(\dot{\beta}_{2p} + \dot{\beta}_1 - 2)^2); \\ & \sum \dot{E}i = 2p\dot{E}i_{v1} + 2p\dot{E}i_{n1} = 4p\dot{E}i_f. \end{aligned} \quad (2.58)$$

З урахуванням вище прийнятого:

$$E = -j\omega_{\dot{a}s}(2(M_{fvn} + 2M_{fper})I_f + M_{fkdi}I_{kd} + \frac{3}{2}M_{afi}I_d), \quad (2.58)$$

Після прирівняння правих частин рівнянь балансу потужностей, отримуємо:

$$4p\dot{I}_f(-j\omega_{\dot{a}s}(2(M_{fvn} + 2M_{fper})\dot{I}_f + M_{fkdi}\dot{I}_{kd} + \frac{3}{2}M_{afi}\dot{I}_d)) = \dot{\delta} \cdot \dot{I}_f^2, \quad (2.59)$$

де,

$$\begin{aligned} \dot{\delta} = & (RV + \dot{Z}_{fv1} + \dot{Z}_v)\beta_1^2 + (RN + \dot{Z}_{fn1} + \dot{Z}_n)(2 - \beta_1)^2 + \rightarrow \\ & \rightarrow + (\dot{Z}_v + \dot{Z}_{fv1})\beta_{2p}^2 + (\dot{Z}_n + \dot{Z}_{fn1})(2 - \beta_{2p})^2 + \dot{Z}_{k2}(\beta_1 - \rightarrow \end{aligned} \quad (2.60)$$

$$\rightarrow -\beta_{2p})^2 + \dot{Z}_{k1}(\beta_{2p} + \beta_1 - 2)^2.$$

Позначивши:

$$\dot{E}_{sr} = -4p \cdot j\omega_{\dot{a}s}(M_{fkdi}I_{kd} + \frac{3}{2}M_{afi}I_d). \quad (2.61)$$

Та розділивши на I_f^2 обидві частини отриманого рівняння, визначаємо повний комплексний опір розщепленої обмотки збудження:

$$\dot{Z}_{f\dot{\varphi}} = \frac{\dot{I}_f \dot{E}_{sr}}{\dot{I}_f^2} = \delta + 8p \cdot j\omega_0 s (M_{fvn} + 2M_{fper}). \quad (2.62)$$

В результаті шукані параметри для схеми заміщення обмотки збудження знаходимо у вигляді:

$$x_{fs} = \text{Im}(\dot{Z}_{f\dot{\varphi}}) \frac{m_{zf}}{Z_B} - x_{ad}, o.e.; \quad (2.63)$$

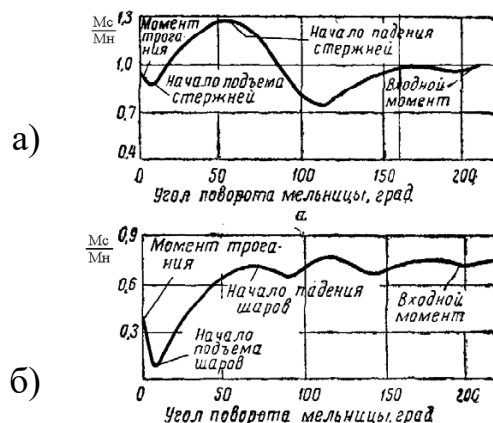
$$r_{fs} = \text{Re}(\dot{Z}_{f\dot{\varphi}}) \frac{m_{zf}}{Z_B}, o.e.$$

2.5. Пускові властивості млинів.

Відомо, що у період пуску барабаних млинів їх момент опору залежить від кута повороту барабану, а також від рівня тертя у підшипниках. Крім того момент опору визначається вагою тіл та матеріалом подрібнення. Як слідує із рис. (2.15,а).

Пусковий момент двигуна повинен бути не нижче 1,4...1,5 номінального для стрижневих млинів і 1,2...1,3 – для кульових млинів. Синхронізація двигуна здійснюється за значення вхідного моменту не нижче 1,1...1,3 номінального.

Барабани млинів мають низьку швидкість обертання (15...40 об/хв), причому чим більше барабан, тим нижче швидкість. Тому для млинів застосовують



а) – стрижневі; б) – кульові

Рис. 2.15 - Пусковий момент опору барабаних млинів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

тихохідні двигуни з номінальною швидкістю обертання ротора у 250, 187, 167, 75 об/хв.

Споживна потужність електроприводу млина мало залежить від рудного завантаження і переважно витрачається на підйом тіл подрібнення, а за відсутності сировини відбувається процес їх самоподрібнення. Тому для підвищення економічності роботи і зниження питомої енергоємності виробництва потрібно, щоб млини працювали з максимальною продуктивністю.

Робота приводу барабаних млинів характеризується рівномірним навантаженням, у наслідок чого для них застосовують переважно синхронні двигуни. Використання синхронних двигунів великої потужності дозволяє підвищити $\cos\varphi$ не тільки на збагачувальних фабриках, а і за необхідності компенсувати споживання реактивної потужності рудників, які входять до складу гірничо-збагачувального комбінату.

Для млинів самоподрібнення регулювання швидкості барабану до 30% вниз від основної дозволяє підвищити продуктивність по готовому концентрату.

Подрібнення в них здійснюють методом удару, стирання або сколу. Це реалізується при швидкості обертання барабану у режимах каскадного, водоспадного або каскадно-водоспадного.

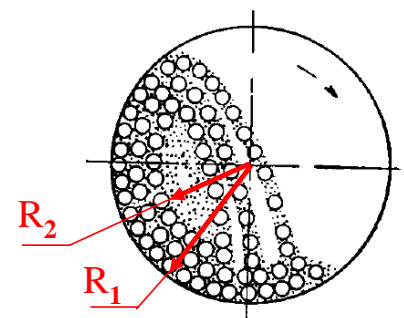


Рис. 2.16 - Схема до пояснення роботи млина

Висновки.

Таким чином, при дослідженнях встановлено, що параметри схеми заміщення розщепленої обмотки збудження з конденсаторами однаковою ємності можна знайти шляхом розв'язування магнітних зв'язків полюсних котушок та заміни ланцюгової схеми з отриманих однакових чотириполюсників на еквівалентну довгу лінію з потужністю, яка дорівнює потужності цієї обмотки в традиційній схемі заміщення.

						ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			48

Встановлено, що при старті млинів їх момент опору залежить від кута повороту. При цьому як для стрижневих так і для кульових млинів є характерним початкове зниження пускового моменту потім його зростання, а на завершальному етапі пуску фіксації на сталому рівні. Це пояснюється зрушенням тіл подрібнення із стану покою до їх руху за траєкторіями режимів каскадного, водоспадного та каскадноводопадного.

					ЕП.МР.20.02.02.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА РОБОТИ

3.1. Розрахунок параметрів моделі синхронного двигуна.

Параметри та розрахунок пускових характеристик синхронного двигуна із спеціальною обмоткою збудження (ОЗСК) при наявності у конструкції ємностей одого номіналу див. (Додаток А)

Вихідні дані для двигуна СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4:

Паспортні дані:

$P_n = 4000$ – номінальна активна потужність, кВт

$U_n = 6000$ – номінальна напруга, В

$I_n = 451$ – номінальний струм статора, А

$f = 50$ - частота живлення, Гц

$R_c = 10 \cdot e^6$ – активний опір ізоляції конденсатору, Ом

$X_d = 3.4$ – реактивність обмотки статора в повздожній осі, Ом

$X'_d = 1.34$ – перехідна реактивність обмотки статора в повздожній осі, Ом

$X''_d = 0.85$ – над перехідна реактивність обмотки статора в повздожній осі,

Ом

$X_s = 0.53$ – реактивність розсіювання обмотки статора, Ом

$X_q = 2.45$ – перехідна реактивність обмотки статора в продольній осі, Ом

$X''_q = 0.854$ - над перехідна реактивність обмотки статора в повздожній осі,

Ом

$R_1 = 0.055$ – активний опір ізоляції конденсатору, Ом

$X_{fs} = 1.12$ – реактивність розсіювання обмотки ротора, Ом

$R_{fs} = 0.665$ - неприведений активний опір обмотки збудження, Ом

$R_{kd} = 0.228$ – активний опір демпферної обмотки в повздожній осі, Ом

$R_{kq} = 0.176$ – активний опір демпферної обмотки в поперечній осі, Ом

$p = 40$ – число пар полюсів

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$W_1 = 210$ – число витків на фазу статора і на полюс збудження

$W_f = 35.5$ – число витків на полюс збудження

$NC = 4$ – число стержнів демпферної обмотки на полюс збудження

$R_{\text{дод}} = 1.6$ – розрядний опір, Ом

$n = 75$ – частота обертання ротору, об/хв

$D_1 = 6.26$ – діаметр розточки індуктора, мм

$K_{\text{об1}} = 0.905$ – обмоточний коефіцієнт обмотки статора

$K_{ad} = 0.86$ – коефіцієнт форми поля статора в поперечній осі

$K_{aq} = 0.586$ – коефіцієнт форми поля статора в повздовжній осі

$K_\phi = 1.085$ – коефіцієнт форми поля збудження

$t_2 = 0.048$ – відстань між стрижнями демпферної клітини, мм

Постійні часу:

$T'_d = 0.91$ – постійна часу обмотки статора к.з. обмотки ротора, с

$T''_d = 0.012$ – постійна часу демпферної обмотки при К.З. обмотки статора та збудження, с

Параметри ОЗСК:

$L_{\text{вi}} = 0.586$

$L_{\text{нi}} = 0.00153$

$M_{\text{ii}} = 0.001406$

$M_{\text{вн}} = 0.000067$

$M_{\text{вв}} = 0.0000673$

$M_{\text{нн}} = 0.000122$

$M_{\text{ai}} = 0.00234$

$M_{\text{kdi}} = 0.00244$

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок параметрів двигуна

Знаходимо реактивність якоря в повздовжній осі:

$$X_{aq} = X_q - X_s, \text{ Ом} \quad (3.1)$$

де, X_q – перехідна реактивність обмотки +статора в продольній осі, X_s – реактивність розсіювання обмотки статора.

$$X_{aq} = 2.45 - 0.53 = 1.92, \text{ Ом}$$

Знаходимо реактивність якоря в поперечній осі:

$$X_{ad} = X_d - X_s, \text{ Ом} \quad (3.2)$$

де, X_d – реактивність обмотки статора в продольній осі, Ом.

X_s – реактивність розсіювання обмотки статора.

$$X_{ad} = 3.4 - 0.55 = 2.87, \text{ Ом}$$

Реактивність демпферної обмотки в повздовжній осі:

$$X_{kd} = \frac{X_{fs}X_{ad}(X_d'' - X_s)}{(X_{fs} + X_{ad}) \cdot (X_s - X_d'') + X_{fs}X_{ad}}, \text{ Ом} \quad (3.3)$$

де, X_{fs} - реактивність розсіювання обмотки ротора, X_{ad} – реактивність якоря в поперечній осі, X_d'' – над перехідна реактивність обмотки статора в продольній осі, X_s – реактивність розсіювання обмотки статора.

$$X_{kd} = \frac{1.12 \cdot 2.87 \cdot (0.85 - 0.55)}{(1.12 + 2.87)(0.55 - 0.85) + 1.12 \cdot 2.87} = 0.531, \text{ Ом}$$

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реактивність демпферної обмотки в поперечній осі:

$$X_{kq} = \frac{X_{aq}(X_q'' - X_s)}{X_{aq} - X_q'' + X_s}, \text{ Ом} \quad (3.4)$$

де, X_{aq} – реактивність якоря в продольній осі, X_q'' – зверхперехідна реактивність обмотки статора в продольній осі, X_s – реактивність розсіювання обмотки статора.

$$X_{kq} = \frac{1.92(0.854 - 0.55)}{1.92 - 0.854 + 0.55} = 0.39, \text{ Ом}$$

Активний опір на напівкатушку збудження:

$$R_{пк} = \frac{R_{fs}}{4 \cdot p}, \text{ Ом} \quad (3.5)$$

де, R_{fs} – не приведенний активний опір обмотки збудження, Ом

$$R_{пк} = \frac{0.665}{4 \cdot 40} = 0.0041, \text{ Ом}$$

Розрахунок еквівалентного числа витків демпферної обмотки:

$$\tau = \pi \frac{D_1}{2p} \quad (3.6)$$

$$\tau = 3.14 \frac{6.26}{2 \cdot 40} = 0.246$$

$$a_c = \pi \frac{t_2}{\tau} \quad (3.7)$$

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a_c = 3.14 \frac{0.047}{0.246} = 0.613$$

$$K_c = \frac{\sin(NC \cdot a_c)}{NC \cdot \sin a_c} \quad (3.8)$$

$$K_c = \frac{0.662}{2.273} = 0.276$$

$$W_{ed} = NC \frac{(1-K_c)}{\pi} \quad (3.9)$$

$$W_{ed} = 4 \frac{(1-0.276)}{3.14} = 0.922$$

$$W_{eq} = NC \frac{(1+K_c)}{\pi} \quad (3.10)$$

$$W_{ed} = 4 \frac{(1+0.276)}{3.14} = 1.624$$

Розрахунок базових величин:

$$I_{\phi} = I_H, \text{ A} \quad (3.11)$$

$$I_{\phi} = 451, \text{ A}$$

$$w_{\phi} = 2\pi f \quad (3.12)$$

$$w_{\phi} = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314.159$$

$$Z_{\phi} = \frac{U_H}{\sqrt{3}I_H}, \text{ Ом} \quad (3.13)$$

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_6 = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 451} = 7.681, \text{ Ом}$$

$$U_6 = \frac{U_H \sqrt{2}}{\sqrt{3}}, \text{ В} \quad (3.14)$$

$$U_6 = \frac{6000}{\sqrt{3}} = 3464.1, \text{ В}$$

$$L_6 = \frac{Z_6}{W_6}, \text{ Гн} \quad (3.15)$$

$$L_6 = \frac{7,681}{314,159} = 0.024, \text{ Гн}$$

Розрахунок коефіцієнтів приведених опорів, струму та напруги збудження:

$$m_{fi} = \frac{3W_1 \cdot K_{об1} \cdot K_{ад}}{\pi \cdot p \cdot W_f} \quad (3.16)$$

$$m_{fi} = \frac{3 \cdot 210 \cdot 0.905 \cdot 0.86}{3.14 \cdot 40 \cdot 35,5} = 0.11$$

$$m_{ikd} = \frac{3W_1 \cdot K_{об1} \cdot K_{ад}}{\pi \cdot p \cdot W_{эд}} \quad (3.17)$$

$$m_{ikd} = \frac{3 \cdot 210 \cdot 0.905 \cdot 0.86}{3.14 \cdot 40 \cdot 0.922} = 4.231$$

$$m_{ikq} = \frac{3W_1 \cdot K_{об1} \cdot K_{аd}}{\pi \cdot p \cdot W_{эq}} \quad (3.18)$$

$$m_{ikq} = \frac{3 \cdot 210 \cdot 0.905 \cdot 0.586}{3.14 \cdot 40 \cdot 1.624} = 1.637$$

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_{uf} = \frac{X_{ad}^2}{X_d - X'_d} - \frac{X_{ad}^2}{X_d} \quad (3.19)$$

$$m_{uf} = \frac{2.87^2}{3.4 - 1.34} - \frac{2.87}{3.4} = 1.576$$

$$m_{ukd} = \frac{4W_1 \cdot K_{об1} \cdot K_{ад}}{2\pi \cdot p \cdot W_{эд}} \quad (3.20)$$

$$m_{ukd} = \frac{4 \cdot 210 \cdot 0.905 \cdot 0.86}{2 \cdot 3.14 \cdot 40 \cdot 0.922} = 2.821$$

$$m_{zf} = \frac{2 \cdot m_{fi}^2}{3} \quad (3.21)$$

$$m_{zf} = \frac{2 \cdot 0.11^2}{3} = 0.008$$

$$m_{zd} = \frac{2 \cdot m_{ikd}^2}{1.5} \quad (3.22)$$

$$m_{zd} = \frac{2 \cdot 4.231^2}{1.5} = 11.936$$

$$m_{zq} = \frac{2 \cdot m_{ikq}^2}{1.5} \quad (3.23)$$

$$m_{zq} = \frac{2 \cdot 1.637^2}{1.5} = 1.786$$

					ЕП.МР.20.02.03.ІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Розрахунок опорів у відносних одиницях:

$$X_{fs} = \frac{X_{fs}}{Z_6}, \quad (3.24)$$

$$X_{fs} = \frac{1.12}{7.68} = 0.146,$$

$$R_{fs} = \frac{R_{fs} \cdot m_{zf}}{Z_6}, \quad (3.25)$$

$$R_{fs} = \frac{1.12 \cdot 0.008}{7.68} = 0.001,$$

$$R_1 = \frac{R_1}{Z_6}, \quad (3.26)$$

$$R_1 = \frac{0.055}{7.68} = 0.007,$$

$$R_{kq} = \frac{R_{kq}}{Z_6}, \quad (3.27)$$

$$R_{kq} = \frac{0.055}{7.68} = 0.023,$$

$$R_{kd} = \frac{R_{kd}}{Z_6}, \quad (3.28)$$

$$R_{kd} = \frac{0.0228}{7.68} = 0.03,$$

$$X_{kq} = \frac{X_{kq}}{Z_6}, \quad (3.29)$$

					ЕП.МР.20.02.03.ІЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_{kq} = \frac{0.039}{7.68} = 0.051,$$

$$X_{kd} = \frac{X_{kd}}{Z_6}, \quad (3.30)$$

$$X_{kd} = \frac{0.531}{7.68} = 0.069,$$

$$X_d = \frac{X_d}{Z_6}, \quad (3.31)$$

$$X_d = \frac{3.4}{7.68} = 0.44,$$

$$X_q = \frac{X_q}{Z_6}, \quad (3.32)$$

$$X_q = \frac{2.45}{7.68} = 0.319,$$

$$X_s = \frac{X_s}{Z_6}, \quad (3.33)$$

$$X_s = \frac{0.53}{7.68} = 0.069,$$

$$X_d'' = \frac{X_d''}{Z_6}, \quad (3.34)$$

$$X_d'' = \frac{0.85}{7.68} = 0.11,$$

$$X_q'' = \frac{X_q''}{Z_6}, \quad (3.35)$$

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_q'' = \frac{0.854}{7.68} = 0.111,$$

$$X_d' = \frac{X_d'}{Z_6}, \quad (3.36)$$

$$X_d' = \frac{1.34}{7.68} = 0.174,$$

$$X_{aq} = \frac{X_{aq}}{Z_6}, \quad (3.37)$$

$$X_{aq} = \frac{1.92}{7.68} = 0.25,$$

$$X_{ad} = \frac{X_{ad}}{Z_6}, \quad (3.38)$$

$$X_{ad} = \frac{2.87}{7.68} = 0.374,$$

$$X_{fkd} = \frac{4}{\pi(K_{ad} \cdot X_{ad})}, \quad (3.39)$$

$$X_{fkd} = \frac{4}{3.14(0.86 \cdot 0.374)} = 3.962$$

$$R_I = R_i \frac{m_{zf}}{Z_6}, \quad (3.40)$$

$$R_I = 0.004 \frac{0.008}{7.68} = 0.00000435,$$

					ЕП.МР.20.02.03.ІЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок параметрів ОЗСК:

$$M_{f_B} = M_{BB} - M_{BH}, \quad (3.41)$$

$$M_{f_B} = 0.0000673 - 0.000067 = 0.0000003,$$

$$M_{f_H} = M_{HH} - M_{BH}, \quad (3.42)$$

$$M_{f_H} = 0.000122 - 0.000067 = 0.000055,$$

$$L_{f_B} = L_{Bi} - M_{ii}, \quad (3.43)$$

$$L_{f_B} = 0.001404 - 0.001406 = -0.000002,$$

$$L_{f_B} = L_{Hi} - M_{ii}, \quad (3.43)$$

$$L_{f_B} = 0.00153 - 0.001406 = 0.000124,$$

$$R_f = R_I \quad (3.44)$$

$$R_f = R_I = 0.00000436$$

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Розрахунок пускової механічної характеристики млина.

При роботі машини напрям кутової швидкості обертання якоря визначається напрямом електромагнітного моменту M двигуна. При усталеному режимі роботи момент M двигуна врівноважується статичним моментом опору M_c , який виникає на валу двигуна під дією робочої машини

Статичний момент M_c залежить від швидкості обертання w , отже значення M_c та характеристика будуть змінюватися, якщо значення w буде змінюватися, тоді статичний момент буде мати наступне значення.

$$\begin{aligned}M_c &= 0, && \text{, якщо } w = 0, \\M_c &= -0.33 + 1.28w && \text{, якщо } w > 0, \\M_c &= 0.33 - 1.28w && \text{, якщо } w < 0, \\M_c &= 1.36w && \text{, якщо } w > 0.125, \\M_c &= 4.52w - 0.791 && \text{, якщо } w > 0.25, \\M_c &= 1.6w + 0.231 && \text{, якщо } w > 0.35, \\M_c &= -0.85w + 1.26 && \text{, якщо } w > 0.42, \\M_c &= 0.75 && \text{, якщо } w > 0.6.\end{aligned}$$

Графік пускової характеристики залежності моменту M_c , від швидкості обертання w , зображений на рис - 3.1.

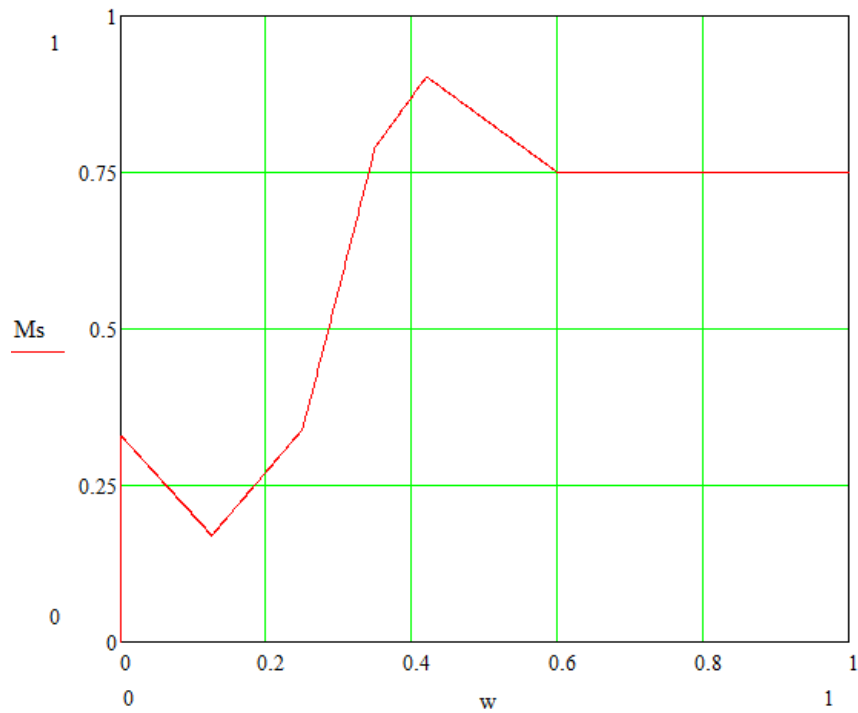


Рис.3.1 – Пускова характеристика двигуна, де M_s - статичний момент.

3.3. Результати досліджень.

Можливість зсуву максимуму резонансного явища вздовж осі ковзань пускової характеристики, який визначається рівнем ємності полюсного конденсатора, та зниження добротності контуру збудження відкрило новий напрям для створення двигунів з пусковими характеристиками, які адаптовані до конкретного механізму. Наприклад, у процесі розгляду пускової механічної характеристики млинів встановлено, що збільшення тривалості процесу пуску обумовлене наявністю максимуму моменту опору біля зони ковзання величини 0,6 (рис.3.2). Забезпечити раціональні пускові властивості електромеханічної системи „млин–двигун” можливо при синхронізації резонансного підвищення моменту характеристики двигуна із ланкою максимуму моменту опору (див. характеристики 1 та 3 рис.3.2). Так, для млина ММС-90х30 шляхом математичного моделювання статичних пускових характеристик отримані значення параметрів системи збудження, які відповідають заданим добротності і розташуванню максимуму резонансного ефекту. Для умов такого випадку величина ємності кожного

полюсного конденсатора становить 130 мкФ, а опір послідовно з'єднанного резистора дорівнює 5 Ом.

Досвід попередньо виконаних досліджень [4–6] дає змогу стверджувати, що для двигуна СДМЗ-2-24-59-80УХЛ4 приводу млина ММС-90х30 установка на роторі компонентів компенсації реактивних струмів практично не впливає на зростання моменту інерції системи, а розподілений характер приєднання конденсаторів уздовж усієї обмотки збудження забезпечує рівень напругу на їх вхідних клеммах у межах допустимих значень, які регламентовані заводом виробником.

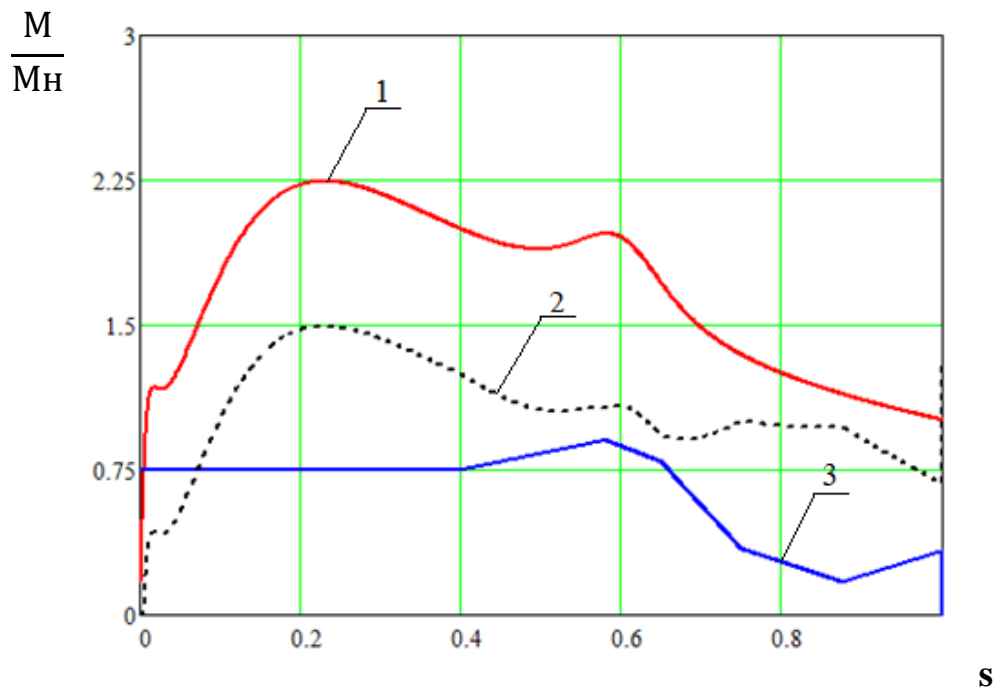


Рис.3.2 - Пускова характеристики двигуна – (1), динамічний момент – (2), статичний момент – (3).

Висновки.

Виходячи із вигляду пускових характеристик (рис.3.2) можемо зробити висновок, що резонанс на пусковій кривій двигуна задовільно компенсує максимум на механічній характеристиці млина. Як наслідок, це сприяє зменшенню терміну

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пуску, покращує температурний режим роботи роторних обмоток і підвищує надійність електромеханічної системи у цілому.

Таким чином, використання модернізованих двигунів у складі подрібнювальних установок дозволить отримати гарантовану можливість запуску млина навіть при його нерозвантаженому стані, а для налагодження технологічного процесу, де пропонується для підвищення продуктивності додати у середину барабану тіла подрібнення і довести рівень моменту опору до номінального моменту двигуна, створюються умови при яких приводний двигун подрібнювальної системи працює у режимі, що відповідає його роботі на це ж навантаження за зменшеної встановленої потужності. Завдяки цьому очікується отримання економічного ефекту, що базується на зниженні експлуатаційних витрат.

					ЕП.МР.20.02.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТУ

4.1. Вступ

У процесі збагачення руди на гірничо-збагачувальних комбінатах, подрібнення руди до необхідної фракції є невід'ємним процесом. Традиційно для даного технологічного процесу використовують потужні електричні млини, які завжди характеризуються важкими умовами пуску. Саме тому конкурентоспроможність підприємства на ринку сировини напряму залежить від неприривності технологічного процесу.

Сутність запропонованого методу полягає в покращенні пускових властивостей синхронного двигуна та забезпеченні його гарантованого запуску завдяки використанню конденсаторів однакової ємності та уведення у кожний ланцюг із конденсатором послідовно увімкнених опорів.

Дане технічне рішення забезпечить більшу стабільність технологічного процесу випуску продукції, а отже покращить якісні та кількісні показники продукції.

Для обґрунтування економічної доцільності запропонованого в кваліфікаційній роботі науково-технічного рішення, пропонується розрахувати повну річну економію орієнтуючись на показники втрат при простою лінії через невдалі запуски та час підготовки повторного запуску.

4.2. Розрахунок капітальних втрат

Капітальні інвестиції - це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції реалізації проекту включають в себе:

- витрати на придбання обладнання;
- витрати на монтаж і налагодження обладнання;

					ЕП.МР.20.02.04.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підрахунок витрат здійснюється на основі цін, наведених в прайс-лист виробників обладнання та інших довідкових матеріалів.

Для визначення капіталовкладень ($K_{пр}$) можна скористатися наступною формулою:

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тзс} + Z_{м}, \quad (4.1)$$

де $K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i)$ – вартість придбання електрообладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i -го виду, необхідних для реалізації прийнятого науково-технічного рішення;

k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$Z_{м}$ – витрати на монтажні роботи;

$Z_{н}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Таблиця 4.1 – Склад капітальних витрат

№	Назва технічного засобу	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн	Постачальник
1	Конденсатор ємністю 130 мкФ	80	570	45600	«Cv-svet»
2	Резистор опором 5 Ом	80	26.5	2120	«Kosmodrom»

Посилання на адресну сторінку постачальника, для замовлення обладнання:

<https://cv-svet.com.ua/p600903506-kondensator-130-mkf.html>

<http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=RX24-50W-5R>

					ЕП.МР.20.02.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Ціни на комплектуючі елементи взяті з офіційних сайтів відповідних виробників або сертифікованих виробником дилерів.

Транспортно-заготівельні і складські витрати розраховані цін кур'єрної фірми «Нова Пошта». Доставка зі складу в Чернівцях до Дніпра та складу із Харкова до Дніпра становила:

Таблиця 4.2 – Витрати на доставку обладнання

№	Назва вантажу	Ціна, грн.
1	Високовольтні конденсатори	1875 грн.
2	Резистори	156 грн

$$Z_{\text{тзс}} = 1875 + 156 = 2031, \text{грн}$$

Витрати на монтажні (Z_m) і на налагоджувальні роботи (Z_n) можна визначити наступним чином:

$$Z_{\text{м(н)}} = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{\text{см}}, \quad (4.2)$$

де C_i – чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), чол.;

a_i – годинна тарифна ставка працівника і-го розряду, грн.;

t_i – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), год.;

K_d – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{\text{см}}$ – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок

Таблиця 4.3 – Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи

Назва витрат	Позначення	Значення
Численість робітників V розряду, осіб.	$Ч_i$	4
Годинна ставка монтажника V розряду, грн.	a_i	65.07
Час необхідний для виконання монтажних робіт, год	t_i	8
Коефіцієнт враховуючий число доплат	$K_{\text{доплат}}$	1.2
Коефіцієнт ураховуючий єдиний соціальний внесок	$K_{\text{соц.вп.}}$	1.22
Коефіцієнт врахування додаткових затрат при монтажу	$K_{\text{пр.}}$	1.07

25 серпня на черговому засіданні ВРУ прийнято президентський законопроект №3963 «Про внесення змін до Державного бюджету на 2020 рік» щодо збільшення розміру мінімальної заробітної плати з 01.09.2020 р мінімальний оклад працівника першого розряду становить 5000 грн. на грудень 2020.

За формулою (4.2) витрати на монтажні (Z_m) і на налагоджувальні роботи визначаються:

$$Z_{m(n)} = (4 \cdot 65.07 \cdot 8) \cdot 1.2 \cdot 1.22 \cdot 1.07 = 3261, \text{ грн}$$

Тоді капіталовкладення ($K_{\text{пр}}$) будуть дорівнювати:

$$K_{\text{пр}} = 45600 + 2120 + 2031 + 3261 = 53012, \text{ грн}$$

4.3. Розрахунок експлуатаційних затрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

					ЕП.МР.20.02.04.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_z);
- єдиний соціальний внесок (C_c);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж (C_m);
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або витрат електроенергії ($C_э$);
- інші експлуатаційні витрати (C_{np}).

Оскільки розроблена система не потребує додаткового обслуговування та не змінює витрату електроенергії, розрахунок додаткових експлуатаційних витрат даного проекту буде складатися лише з амортизаційних відрахувань:

$$C = C_a; \quad (4.3)$$

4.4. Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних затрат згідно основним фондам і нематеріальним активам по розділам зведення капітальних затрат.

$$\Phi_a = \Phi_p - Л, \quad (4.4)$$

де Φ_p – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$ – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити ліквідаційну вартість об'єкту основних засобів важко, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється рахувати що вона дорівнює нулю.

					ЕП.МР.20.02.04.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi_a = 53012 - 0 = 53012 \text{ грн,}$$

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна в період всього амортизаційного періоду і знаходиться за формулою:

$$N_a = \frac{\Phi_{II} - Л}{\Phi_{II} \cdot T_{II}} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

де T_{II} – термін корисного використання (амортизаційний період), для вибраного обладнання, що відноситься до 4 групи ОВФ та дорівнює $T_{II} = 5$ років, згідно таблиці 4.2[7].

$$N_a = \frac{53012 - 0}{53012 \cdot 5} \cdot 100\% = 20, \%$$

Таблиця 4.4 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

Назва	Капітальні затрати, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн
Проектний варіант	53012	20	10602

4.5. Визначення річної економії від впровадження науково-технічного рішення

Основний економічний ефект від впровадження даного технічного рішення базується не на зменшенні кількості споживаної електроенергії, а на мінімізації простою при невдалому пуску перенавантаженого продуктом робочого механізму млинів.

Основною з причин невдалої спроби запуску механізму є невідповідна якість подрібнюваного матеріалу, що утворюється під час простою механізму в момент ремонту. Також слід зазначити що майже кожна аварійна зупинка створює перенавантаження продуктом бункеру млинів.

					ЕП.МР.20.02.04.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опираючись на річну статистику запуску механізму протягом року було отримано такі дані:

Таблиця 4.5 – Характеристика зупинок барабанного млина протягом року

Характер зупинки	Кількість	Час простою, год	Кількість пусків	З них невдало
Капітальний ремонт	2	1440	3	1
Аварійна зупинка	10	240	14	2
Поточний ремонт	51	120	58	3
Відсутність сировини	22	1080	53	1

Звідси можна зробити висновки, що:

$$E_{кр} = n \cdot t \cdot P \cdot p, \text{ грн} \quad (4.6)$$

де, $n = 7$ - кількість невдалих запусків,

$t = 82$ – час перед повторним запуском

$P = 0.26$ т/хв

$p = 1073$ – середня ціна на сировину грн.

Тоді, річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення ($E_{кр}$), буде дорівнювати:

$$E_{кр} = 7 \cdot 82 \cdot 0.26 \cdot 1073 = 160134, \text{ грн}$$

Розрахуємо повну річну економію:

$$E_{кн} = E_{кр} - \Delta C, \text{ грн} \quad (4.7)$$

$$E_{кн} = 160134 - 10602 = 149532, \text{ грн}$$

					ЕП.МР.20.02.04.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо термін окупності капітальних витрат T_p що показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = K_{np}/E_{Kn}, \quad (4.8)$$

$$T_p = \frac{53012}{149532} = 0.354, \text{ року}$$

Варіант визнається економічно доцільним оскільки $T_p < 5$.

Висновок

В даному розділі була визначена загальна сума капітальних витрат на впровадження розробленого технічного рішення, які становлять 53012 грн.

Річні експлуатаційні витрати будуть складати 10602 грн.

Беручи до уваги прогнозовані збитки через невдалі пуски, що в середньому дорівнює 160134 грн/рік, за рахунок модернізації можливо досягнути економії 149532 грн, обсяг витрат на модернізацію є виправданим. При цьому термін окупності капітальних витрат становить 0.354 року.

					ЕП.МР.20.02.04.ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Загальні висновки

У кваліфікаційній роботі було розроблено і запропоновано рішення поставленої наукової задачі, а саме, подальше вдосконалення схеми обмотки збудження за рахунок монтажу конденсаторів та уведення у кожний ланцюг із конденсатором послідовно увімкнених опорів для синхронного приводу потужних барабаних млинів.

Таке конструктивне рішення дозволить досягнути покращення показників привода таких, як його спрощення, підвищення надійності та економічності за рахунок одночасного підвищення швидкості обертання та моменту опору млинів, а також забезпечення плавності зміни динамічного моменту двигуна протягом усього терміну пуску. В результаті підвищиться одинична потужність млина, обладнана високоефективним приводом, який знизить питомі витрати електроенергії на подрібнення.

Дослідження, виконані в ході роботи, дозволяють зробити наступні висновки:

- Синхронні приводи можливо покращити шляхом використання резонансних явищ в обмотках збудження, оскільки при цьому з'являються можливості одночасного збільшення пускового моменту та зниження пускового струму
- Повна або часткова компенсація індуктивної складової струмів пускової обмотки двигуна та обмотки статора досягається за відповідної ємності конденсаторів, що покращує форму механічної характеристики двигуна.
- При використанні резонансних явищ в обмотці збудження корисно одночасно регулювати напругу на статорі, наприклад тиристорним регулятором.
- При дослідженнях встановлено, що параметри схеми заміщення розщепленої обмотки збудження з конденсаторами однаковою ємності можна знайти шляхом розв'язування магнітних зв'язків полюсних котушок.

					ЕП.МР.20.02.В.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Встановлено, що при старті млинів їх момент опору залежить від кута повороту.

- Виходячи із вигляду пускових характеристик (рис. 3.2) можемо зробити висновок, що резонанс на пусковій кривій двигуна задовільно компенсує максимум на механічній характеристиці млина

- Таким чином, використання модернізованих двигунів у складі подрібнювальних установок дозволить отримати гарантовану можливість запуску млина навіть при його нерозвантаженому стані.

- Основний економічний ефект від впровадження даного технічного рішення базується не на зменшенні кількості споживаної електроенергії, а на мінімізації простою при невдалому пуску перенавантаженого продуктом робочого механізму млинів.

					ЕП.МР.20.02.В.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Список літератури

1. Довідник по збагаченню руд. Підготовчі процеси / Під ред. О. О. Богданова та ін. – М.: Недра, 1972.- 447 с.
2. Крюков Д. К. Футеровки шарових млинів. – М.: Машинобудівництво, 1965. – 183 с.
3. Крюков Д. К. Удосконалення розмольного устаткування гірничо-збагачуючих підприємств. – М.: Недра, 1966. – 173 с.
4. Півняк Г. Г., Кіріченко В.І. Електромеханічні системи енергонапружених барабанних млинів. – Дніпропетровськ, НГА України, 2000. – 166 с.
5. А.с. 1494152 А1 СССР, МКІ Н 02 К 19/36. Синхронний електродвигун [Текст.] / Д.К. Крюков, В.І. Кириченко, Е.П. Островський, Е.В. Лаврухіна, А.С. Бешта, С.А. Тенчурін (СССР). – заяв. 15.09.87; публ. 15.07.89, Бюл. №26.
6. Півняк. Г. Г. Підвищення надійності та економічності потужних синхронних приводів з важким пуском. [Текст.] / Г.Г. Півняк, В.В. Кіріченко, В.А. Бородай // Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія та практика. – 2007 – С.553-555.
7. Методичні рекомендації до виконання розділу “Техніко-економічне обґрунтування” дипломного проекту бакалавра напряму підготовки 6.050702 “Електромеханіка” /Укл.: Тимошенко Л.В. – Дніпропетровськ: НГУ, 2012. – 12 с.
8. Бородай В.А. дисертація кандидата технічних наук на тему: Рациональні параметри пускових властивостей синхронних двигунів з важкими умовами пуску (привод гірничих машин).
9. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоиздат, 1982. – 416 с., ил. – (Электроустановки промышленных предприятий).

					ЕП.МР.20.02.П.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

10. Абрамович Б.Н. Система возбуждения синхронных машин с использованием преобразователей с двухсторонней проводимостью / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Бирюков, В.М. Вадатурский // Электротехника. – 1970. – №11 – С. 1–5.

11. Абрамович Б.Н. О кратности пускового сопротивления синхронных двигателей / Б.Н. Абрамович // Электротехническая промышленность. Электрические машины. – 1974. – Вып. 4(38) – С. 14–15.

12. Абрамович Б.Н. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей / Б.Н. Абрамович, А.А. Круглый – Ленинград: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с.

13. Киркин Б.И. Обеспечение пуска и самозапуска синхронных тихоходных двигателей под нагрузкой / Б.И. Киркин, Б.Н. Некрасов // Промышленная энергетика. – 1974. – №2 – С. 9–11

14. Киркин Б.И. Улучшение пусковых характеристик явнополюсных синхронных двигателей / Б.И. Киркин, А.А. Сахаров // Электротехника. – 1971. – №12 – С. 39-42.

15. Карпенко Б.К. Асинхронные режимы синхронной машины с регулированием возбуждения / Б.К. Карпенко // Изв. вузов. Электромеханика. – 1965. – №12 – С. 1337–1346.

16. Характеристики синхронного двигателя при вентильно-емкостном возбуждении / Низимов В.Б., Карачунский П.Ш., Колычев С.В. // Тезисы докладов краевой научно-технической конференции «Автоматизация электроприводов и оптимизация режимов электропотребления», (Красноярск, 1985 г.). – К.:, 1985. – С. 93-94.

17. А.с. №1043796 А СССР, МКИ Н 02 К 19/26. Синхронный электродвигатель / Д.К. Крюков, В.И. Кириченко, С.А. Турчин (СССР). – №420071/24 – 07; заяв. 30.09.81; опубл. 23.09.83, Бюл. № 35.

18. Пат. UA 31044 А, 6 В 02К 19/36 України. Синхронний двигун. /В.І.Кириченко, В.С. Гомілко, В.А. Бородай; заявитель і патентовласник НГУ; заяв. 03.07.1998; опубл. 15.12.2000. Бюл. №7-II.

					ЕП.МР.20.02.П.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Про новий спосіб покращення пускових властивостей синхронних двигунів приводів млинів / Кириченко В.І., Гомілко В.С., Бородай В.А., Островський Е.П. // Матеріали науково-технічної конференції —Проблеми автоматизованого електро-привода. Теорія і практика, (Крим, Алушта, 15-20 сент. 1997 г.). – Х.: ХГПУ, 1997. – С. 288–290.

20. Осин И.Л. Электрические машины: Синхронные машины: Учеб. пособие для вузов / И.Л. Осин, Ю.Г. Шакарян под ред. И.П. Копылова. – Москва: Высш. шк., 1990. – 304 с.: ил.

21. Сипайлов Г.А. Электрические машины (специальный курс): Учеб. для вузов / Г.А. Сипайлов, Е.В. Кононеко, К.А. Хорьков – 2-е изд., перераб. доп. – Москва: Высш. шк., 1987. – 287 с.: ил.

22. Borodai V. Efficient Transient Modes of Synchronous Drive for Mining and Smelting Mechanisms [Техт] / V. Borodai, R. Borovyk, O. Nesterova. //Mechanics, Materials Science & Engineering. – 2017. –Vol.8. – No.8. – P. 133-142.

23. <https://cyberleninka.ru>

24. <https://electrono.ru/elektricheskie-mashiny/sinxronnyj-dvigatel>

25. <https://cv-svet.com.ua/p600903506-kondensator-130-mkf.html>

26. <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=RX24-50W-5R>

27. http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/73/27/elektromeh_1_2012.pdf

28. https://www.elec.ru/files/2020/01/20/Вешеневский_С.Н._

[Характеристики двигателей в.PDF](#)

29.

https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/feeem/5grabko_eksperiment_doslidzh_elektrmashin_ch1/Data/Rozdil%202.9.htm

30.

https://stud.com.ua/90465/tehnika/elektromehanichni_vlastivosti_yavnopolyusnih_sinhronnih_dviguniv

31. <http://www.wikipage.com.ua/1x7f05.html>

32 <http://budtehnika.pp.ua/1640-mehanchna-kutova-harakteristiki-sinhronnih-elektrodviguniv.html>

					ЕП.МР.20.02.П.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Додаток А

Розрахунок пускових характеристик синхронного двигуна із спеціальною обмоткою збудження (ОЗСК) при наявності у конструкції емоностей одного номіналу.

I. Вхідні данні: (Для двигуна СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4)

1. Параметри ОЗСК:

$$\begin{aligned} L_{vi} &\equiv 0.001404 & L_{ni} &\equiv 0.00153 \\ M_{ii} &\equiv 0.001406 & M_{vn} &\equiv 0.000067 \\ M_{vv} &\equiv 0.0000673 & M_{nn} &\equiv 0.000122 \\ M_{ai} &\equiv 0.00234 & M_{ki} &\equiv 0.00244 \end{aligned}$$

2. Паспортні дані двигуна:

$$\begin{aligned} X_d &\equiv 3.4 & X_s &\equiv 0.53 & X_{ad} &\equiv X_d - X_s & R_i &\equiv \frac{0.665}{160} \\ K_{o61} &\equiv 0.905 & W_1 &\equiv 210 & W_f &\equiv 35.5 & K_{ad} &\equiv 0.86 \\ K_{aq} &\equiv 0.586 & p &\equiv 40 & R_1 &\equiv 0.055 & D_1 &\equiv 6.26 \\ U_H &\equiv 6000 & I_H &\equiv 451 & R_c &\equiv 10 \cdot e^6 & K_f &\equiv 1.085 \\ X_q &\equiv 2.45 & X_{fs} &\equiv 1.12 & X_{d1} &\equiv 1.34 & X_{d11} &\equiv 0.85 \\ X_{q11} &\equiv 0.854 & R_{kd} &\equiv 0.228 & R_{kq} &\equiv 0.176 & X_{aq} &\equiv X_q - X_s \\ T_{d1} &\equiv 0.91 & T_{d11} &\equiv 0.012 & T_2 &\equiv 0.048 & NC &\equiv 4 & R_{fs} &\equiv 0.665 \\ TAY &\equiv \pi \cdot \frac{D_1}{2 \cdot p} & \alpha_c &\equiv \pi \cdot \frac{T_2}{TAY} & K_c &\equiv \frac{\sin(NC \cdot \alpha_c)}{NC \cdot \sin(\alpha_c)} & f_H &\equiv 50 \\ W_{zd} &\equiv NC \cdot \frac{(1 - K_c)}{\pi} & W_{zq} &\equiv NC \cdot \frac{(1 + K_c)}{\pi} \end{aligned}$$

3. Розрахунок базових величин.

$$I_6 \equiv I_H \quad W_6 \equiv 2 \cdot \pi \cdot f_H \quad Z_6 \equiv \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_H} \quad U_6 \equiv \frac{U_H}{\sqrt{3}} \quad L_6 \equiv \frac{Z_6}{W_6}$$

4. Розрахунок масштабних коефіцієнтів.

$$h1 \equiv 1 \quad \text{Шаг по ёмності (C).} \quad N1 \equiv \frac{C_{\max}}{h1} = \blacksquare \quad \text{Кількість шагів по ёмності (C).}$$

7. Програмний блок розрахунку ОЗСК.

```

Pusk := | U1 ← 1
         | CE ← 0.000065
         | RN ← 0.8 ·  $\frac{mzf}{Z6}$ 
         | RV ← RN
         | s ← 0
         | for g ∈ 0..N
         |   | s ← s + h
         |   | Zfb ← Rf + j · (Lfb + 2 · Mfb)
         |   | Zfn ← Rf + j · (Lfn + 2 · Mfn)
         |   | Zc ← -j ·  $\frac{mzf}{W6 \cdot s^2 \cdot CE \cdot Z6}$  + 25 ·  $\frac{mzf}{Z6}$ 
         |   | Zk ← Zc - j · (Mfb + Mfn)
         |   | Zfb1 ← Rf + j · (Lfb + Mfb - Mfn)
         |   | Zfn1 ← Rf + j · (Lfn + Mfn - Mfb)
         |   | Zk1 ← Zc + j · (Mfb + Mfn)
         |   | Zfbk ← Zfb1 -  $\frac{Zfb}{2}$ 
         |   | Zfnk ← Zfn1 -  $\frac{Zfn}{2}$ 
         |   | Z1b ←  $\frac{Zfb}{2}$ 
         |   | Z1n ←  $\frac{Zfn}{2}$ 
         |   | βk ←  $\frac{Z1n}{Z1b + Z1n}$ 

```


$$A1 \leftarrow 1 + \frac{(Z1B + Z1H)}{Zk}$$

$$B1 \leftarrow (Z1B + Z1H) \cdot \left(2 + \frac{Z1H + Z1B}{Zk} \right)$$

$$C1 \leftarrow \frac{1}{Zk}$$

$$D1 \leftarrow A1$$

$$Z\pi \leftarrow \sqrt{\frac{B1}{C1}}$$

$$\gamma1 \leftarrow \operatorname{acosh}(A1)$$

$$A \leftarrow \cosh[(2 \cdot p - 1) \cdot \gamma1]$$

$$B \leftarrow Z\pi \cdot \sinh[(2 \cdot p - 1) \cdot \gamma1]$$

$$C \leftarrow \frac{\sinh[(2 \cdot p - 1) \cdot \gamma1]}{Z\pi}$$

$$Zf_{\text{вн}} \leftarrow \frac{A - 1}{C} \cdot (1 - \beta k)$$

$$Zf_{\text{вн}} \leftarrow \frac{A - 1}{C} \cdot \beta k$$

$$Zf_{\text{кн}} \leftarrow \frac{1}{C}$$

$$ZZ \leftarrow (Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zk1) \cdot (Zk1 - Zf_{\text{кн}})$$

$$ZZ1 \leftarrow (Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zk1 + RN)$$

$$ZZ2 \leftarrow Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zk1 + Zf_{\text{кн}} + RV + RN$$

$$ZZ3 \leftarrow (Zk1 - Zf_{\text{кн}})^2$$

$$\beta1 \leftarrow 2 \cdot \frac{ZZ - ZZ1 \cdot (Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zk1 + Zf_{\text{кн}})}{ZZ3 - ZZ2 \cdot (Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zk1 + Zf_{\text{кн}})}$$

$$\beta2p \leftarrow \frac{2 \cdot (Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zk1) - \beta1 \cdot (Zk1 - Zf_{\text{кн}})}{Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zf_{\text{вн}} + Zf_{\text{кн}} + Zk1 + Zf_{\text{кн}}}$$

$$\delta1 \leftarrow 2 - \beta1$$

$$\delta2p \leftarrow 2 - \beta2p$$

$$Z \leftarrow j \cdot 8 \cdot p \cdot (M_{ii} + 2 \cdot M_{вн})$$

$$Z\text{в} \leftarrow \beta1^2 \cdot (Zf_{\text{кн}} + RV + Zf_{\text{вн}}) + \delta1^2 \cdot (Zf_{\text{кн}} + RN + Zf_{\text{вн}}) + (\beta1 - \beta2p)^2 \cdot$$

$$Z\text{в} \cdot Z\text{в} + \beta2p^2 \cdot (Zf_{\text{кн}} + Zf_{\text{вн}}) + \delta2p^2 \cdot (Zf_{\text{кн}} + Zf_{\text{вн}}) + (\beta2p - \delta1)^2 \cdot Z\text{в} \cdot$$

$$Z_{13} \leftarrow Z_{13} + \rho_{2p} \cdot (Z_{1BK} + Z_{1BШ}) + \rho_{2p} \cdot (Z_{1BK} + Z_{1BШ}) + (\rho_{2p} - \sigma_1) \cdot Z_{K1}$$

$$Z_{f3} \leftarrow \frac{\operatorname{Re}(Z_{f3})}{s} + j \cdot (\operatorname{Im}(Z_{f3}) - X_{ad})$$

$$Z_{kd} \leftarrow \frac{R_{kd}}{s} + j \cdot X_{kd}$$

$$Z_{kq} \leftarrow \frac{R_{kq}}{s} + j \cdot X_{kq}$$

$$Z_{ds} \leftarrow j \cdot X_s + \frac{1}{\frac{1}{j \cdot X_{ad}} + \frac{1}{Z_{f3}} + \frac{1}{Z_{kd}}}$$

$$Z_{qs} \leftarrow j \cdot X_s + \frac{1}{\frac{1}{j \cdot X_{aq}} + \frac{1}{Z_{kq}}}$$

$$I_1 \leftarrow U_1 \cdot \frac{\left(Z_{ds} + Z_{qs} + 2 \cdot \frac{R_1}{2 \cdot s - 1} \right)}{(Z_{ds} + R_1) \cdot \left(Z_{qs} + \frac{R_1}{2 \cdot s - 1} \right) + (Z_{qs} + R_1) \cdot \left(Z_{ds} + \frac{R_1}{2 \cdot s - 1} \right)}$$

$$I_2 \leftarrow \frac{U_1 \cdot (Z_{qs} - Z_{ds})}{(Z_{ds} + R_1) \cdot \left(Z_{qs} + \frac{R_1}{2 \cdot s - 1} \right) + (Z_{qs} + R_1) \cdot \left(Z_{ds} + \frac{R_1}{2 \cdot s - 1} \right)}$$

$$I_{1a} \leftarrow \operatorname{Re}(I_1)$$

$$I_1 \leftarrow \sqrt{\operatorname{Re}(I_1)^2 + \operatorname{Im}(I_1)^2}$$

$$I_2 \leftarrow \sqrt{\operatorname{Re}(I_2)^2 + \operatorname{Im}(I_2)^2}$$

$$I \leftarrow \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$

$$M \leftarrow \frac{U_1 \cdot I_{1a} - I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot \frac{R_1}{2 \cdot s - 1}}{1}$$

$$w \leftarrow 1 - s$$

$$M_s \leftarrow \begin{cases} 0 & \text{if } w = 0 \\ -0.33 + 1.28 \cdot w & \text{if } w < 0 \\ 0.33 - 1.28 \cdot (w) & \text{if } w > 0 \\ 1.36 \cdot (w) & \text{if } w > 0.125 \\ 4.52 \cdot (w) - 0.791 & \text{if } w > 0.25 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1.6 \cdot (w) + 0.231 & \text{if } w > 0.35 \\ -0.85 \cdot (w) + 1.26 & \text{if } w > 0.42 \\ 0.75 & \text{if } w > 0.6 \end{cases}$$

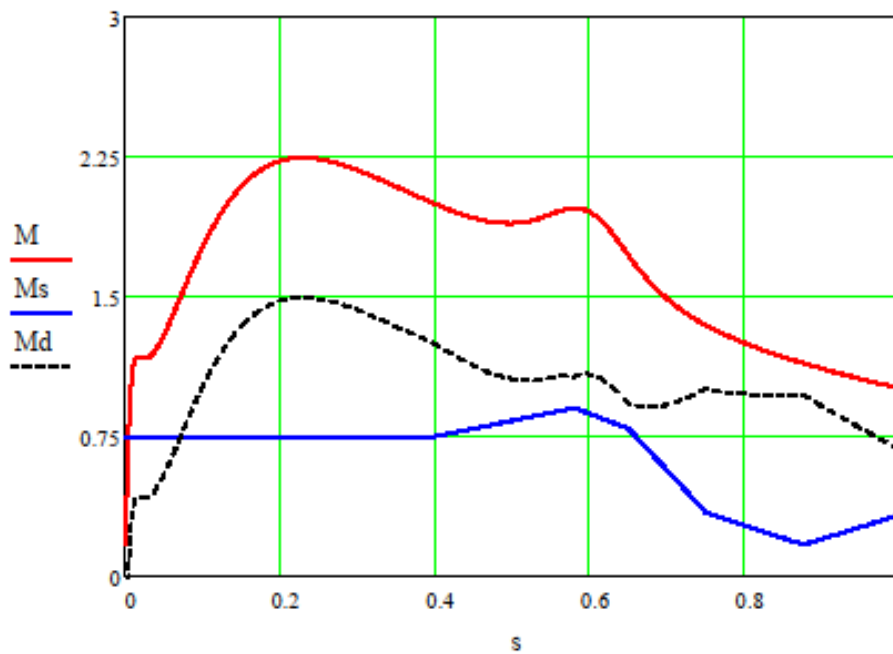
$X1_g \leftarrow s$
 $X2_g \leftarrow I$
 $X3_g \leftarrow M$
 $X4_g \leftarrow Ms$
 $X5_g \leftarrow I2$

$Y^{(0)} \leftarrow X1$
 $Y^{(1)} \leftarrow X2$
 $Y^{(2)} \leftarrow X3$
 $Y^{(3)} \leftarrow X4$
 $Y^{(4)} \leftarrow X5$

Y

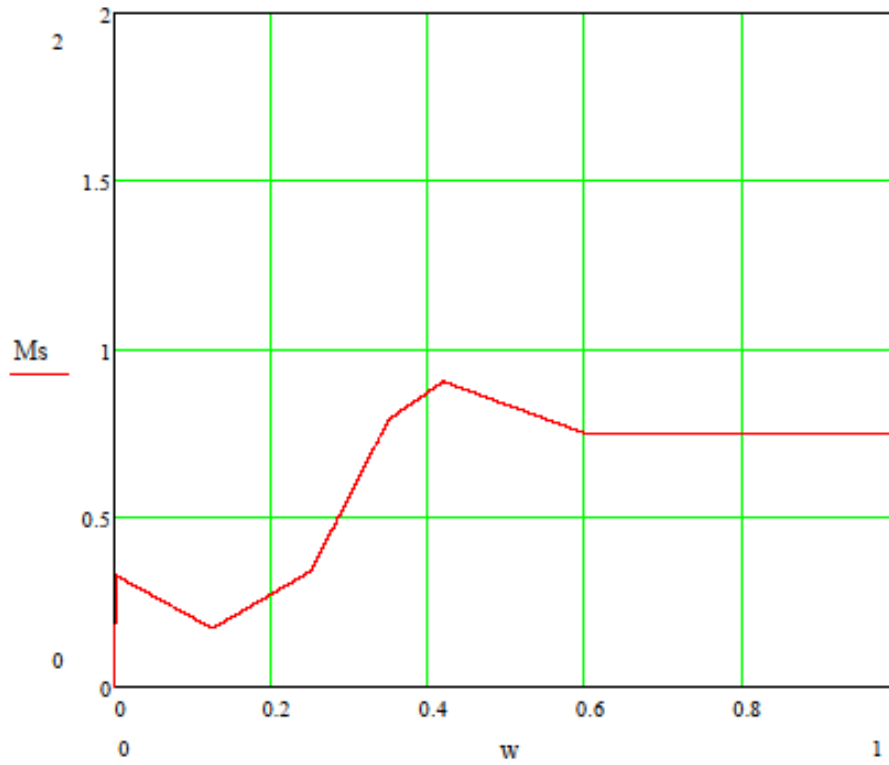
$s := \text{Pusk}^{(0)}$ $i := \text{Pusk}^{(1)}$ $M := \text{Pusk}^{(2)}$ $I2 := \text{Pusk}^{(4)}$ $Ms := \text{Pusk}^{(3)}$

$Md := M - Ms$



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$M_s := \text{Pusk}^{(3)} \quad w := 1 - s$$



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.МР.20.02.Д.ПЗ

Арк.

84

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ВІДОМОСТЕЙ ДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Направляється студент(ка) Фурніка В.В. до захисту кваліфікаційної роботи за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка на тему: Синхронний привод барабаних млинів із системою урівноваження пускового динамічного моменту.

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Декан факультету (директор інституту) Іванов О.Б. _____

(підпис)

Довідка про успішність

Фурніка В.В. за період навчання в університеті, на факультеті Електротехнічному з 2019 р. до 2020 р. повністю виконав (ла) освітню програму за спеціальністю з таким розподілом оцінок за інституційною шкалою: відмінно - 35.71 %, добре - 28.57 %, задовільно - 35.72 %.

Секретар факультету _____

Висновок керівника

(зазначається відповідність змісту роботи, вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми, оцінка виконання завдання)

Студент(ка) Фурніка В.В. _____

Керівник_проекту (роботи) _____ доц. Бородай В.А.
" ____ " _____ 2020 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційну роботу розглянуто. Студент(ка) Фурніка В.В. допускається до захисту цієї роботи в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри Електропривода

к.т.н., професор Казачковський М.М.

(підпис)

" ____ " _____ 2020 року

Рецензія

на дипломну роботу „ Синхронний привод барабаних млинів із системою урівноваження пускового динамічного моменту” студента групи 141м-19-4 Фурніки Владислава Валерійовича.

Безперервне зростання вартості енергоресурсів ставить виробничі підприємства в залежність від необхідності впровадження енергозберігаючих технологій. Беручи до уваги те, що проблема енергозбереження стосується також і подрібнювальних установок барабанного типу, вимога щодо підвищення ефективності їх потужного синхронного електропривода є актуальною задачею.

В частині обґрунтування роботи автором показана необхідність вдосконалення схемного рішення системи збудження із розщепленням и конденсаторами, суть якої полягає в виборі раціонального схемного рішення, що дозволяє суттєво зменшити розбіг величини пускового динамічного моменту від середнього і відповідно надає більшу перспективу щодо впровадження таких конструкцій у промисловість. Як наслідок, можливо досягти кращих пускових властивостей, більшу надійність і підвищити продуктивність роботи електромеханічної системи за умови зменшення енерговитрат.

Автором магістерської роботи в теоретичній частині опрацьовано спосіб розщеплення обмотки збудження і вдало застосовано для визначення параметрів ланцюгів компенсації, які забезпечують кращі пускові властивості двигуна за умови збалансування динамічного моменту протягом усього терміну пуску. Якісний та кількісний результат досліджень оцінювався формою пускових статичних характеристик, розрахунок яких базується на основі схем заміщення із новою композицією увімкнення конденсаторів і резисторів. Новизна роботи полягає у застосуванні нових схемних рішень збудження до визначення пускових характеристик.

Основна частина роботи присвячена пошуку раціональних параметрів конденсаторів та резисторів полюсів, пошук яких виконаний за оригінальною програмою і ілюстративною схемою досліджень. В результаті отримані графічні залежності, які дозволили визначити експериментальним чином, що за умови збереження кращих пускових властивостей раціональне схемне рішення збудження повинно мати ємність полюсних конденсаторів у 130 мкФ, а потрібна добротність контурів бути мати місце за величини резисторів у 5 Ом.

Вагомим результатом дослідника є практично-експериментальне доведення працездатності запропонованого схемного рішення синхронного двигуна, за умови додаткового надбання системою нових позитивних технічних та технологічних якостей. Практична цінність роботи не викликає сумніву.

Магістерська робота не містить суттєвих зауважень.

Вважаю, що представлена робота Фурніка В.В. відповідає вимогам, що ставляться до магістерських робіт і може бути оцінена на „ ” ().

Д-р техн. наук,
проф. каф. Електротехніки НТУ

„Дніпровська політехніка”

В.С. Хілов

Відгук

на дипломну роботу „Синхронний привод барабанних млинів із системою урівноваження пускового динамічного моменту” студента групи 141м-19-4 Фурніки Владислава Валерійовича.

Досвід експлуатації синхронного електропривода потужних барабанних млинів виявив проблеми пов’язані із нерівномірністю пускового динамічного моменту синхронного привода. Як наслідок, можуть виникати перевантаження механічних компонентів конструкції млина, що знижає їх надійність та експлуатаційну довговічність.

Автором роботи обґрунтовано доведено, що за очевидних переваг синхронного приводу з приводу енергозбереження, сумісність механізму і двигуна у режимі пуску вимагає додаткового вдосконалення, а тому пошук раціональних параметрів розщепленої системи збудження, є беззаперечно актуальною задачею.

Для досягнення поставленої мети - покращення пускових властивості електромеханічної системи млин-синхронний двигун в роботі пропонується алгоритм пошуку раціональної схеми збудження, який культивує вибір найбільш прийнятної розміщення резонансу на пусковій характеристиці двигуна та визначення параметрів компенсації полюсних ланцюгів, що забезпечують фазовий зсув та добротність контуру збудження машини.

Науковим результатом магістерської роботи можливо вважати спосіб визначення параметрів системи збудження запропонований для конкретного випадку.

Практична цінність магістерської роботи не може ставитись під сумнів.

Магістерська робота Фурніки В.В. виконана у повному обсязі та у відповідності до завдання.

Робота здобувача не містить суттєвих зауважень.

Оцінки за розділами:

Економічна частина – „ ()”;

Головна частина – „ ()”.

Вважаю, що представлена робота Фурніка В.В. відповідає вимогам, що ставляться до магістерських робіт і може бути оцінена на „ ()”, а автор Фурніка В.В. заслуговує на присвоєння йому освітньої кваліфікації магістра з спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Керівник кваліфікаційної роботи,
доц. каф. електропривода

В.А. Бородай