

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І СИСТЕМ
УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ЕЛЕКТРОПРИВОД З АВТОНОМНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

КРЕМЕНЧУК 2019

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електропривод з автономними джерелами живлення» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладачі старш. викл. О. А. Хребтова

Рецензент к. т. н., доц. Ю. В. Зачепа

Кафедра систем автоматичного управління і електроприводу

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол ____ від ____ _____ 2019 р.

Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ	4
Перелік лабораторних робіт.....	6
Лабораторна робота № 1 Моделювання режимів роботи асинхронізованого синхронного генератора	6
Лабораторна робота № 2 Моделювання асинхронного двигуна з живленням від аварійного дизель-генератора.....	14
Лабораторна робота № 3 Моделювання асинхронного генератора і машини подвійного живлення з конденсаторним самозбудженням.....	20
Критерії оцінювання знань студентів.....	26
Список літератури.....	27
Додаток А Лістинг S-файлу до лабораторної роботи № 3.....	28
Додаток Б Зразок оформлення титульної сторінки звіту з лабораторної роботи.....	31

ВСТУП

На сьогодні автономні джерела живлення мають важливе значення для забезпечення нормальної роботи електроприводів технологічних механізмів як на виробництві, так і під час роботи поза зоною промислового об'єкта. Існують випадки, коли відбувається спонтанне вимикання живлення або повністю відсутня можливість підключення до стаціонарного джерела живлення. Важливо правильно вибрати автономне обладнання.

Під час вибору техніки варто враховувати споживану потужність напруги. Переважно, вона складається із загальної кількості використовуваного живлення.

Асортиментний підбір блоків для контролю перепаду на автономних джерелах живлення має різні параметри, а також критерії для вибору.

Устаткування електричного живлення устанавлюється у джерелі живлення і контролює перепади напруги. На основі всіх деталей, які застосовують напругу, враховують технічні норми для експлуатації в автономному режимі. Для визначення необхідних параметрів щодо вибору типу та системи автоматного джерела живлення, необхідно спочатку змоделювати системи електропривода з автономним джерелами живлення з різними режимами навантаження.

Моделювання на ЕОМ нині перетворилося на одну з методологічних засад дослідження складних систем керування. Особливо важливе його значення тоді, коли технологічним процесом або об'єктом керують за допомогою ЕОМ. Тому вивчення методів і проведення математичного моделювання електромеханічних систем і систем електропривода є важливою ланкою у підготовці інженерів-електромеханіків.

Мета – оволодіння студентами теоретичними основами розрахунку, розробки та практичними навичками проектування, налаштування і експлуатації сучасних систем автоматизованого електропривода з живленням

від автономних джерел.

Завдання – набуття теоретичних знань і практичних навичок, що надають змогу самостійно виконувати роботи з розробки системами автоматизованого електропривода з автономними джерелами живлення.

Мета проведення лабораторних занять полягає в закріпленні знань, отриманих на лекціях унаслідок дослідження властивостей та характеристик електромеханічних систем, двигунів постійного і змінного струму на цифрових обчислювальних машинах і набутті досвіду моделювання електромеханічних систем і систем електропривода за лінійними та нелінійними системами диференціальних рівнянь.

Унаслідок виконання лабораторних робіт студенти повинні засвоїти під часнціпи побудови моделей електромеханічних систем з урахуванням їх властивостей та дослідження їх на ЕОМ; уміти оцінювати якість отриманого розв'язку, вибирати необхідний спосіб інтегрування, навчитися складати математичні моделі електричних машин і апаратів.

Варіанти завдань для виконання призначає викладач.

ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота № 1

Тема. Моделювання режимів роботи асинхронізованого синхронного генератора

Мета: вивчення методів і набуття навичок математичного моделювання трифазного електричного генератора, у якого магнітний потік збудження створюється джерелом трифазної напруги і переміщається відносно ротора.

Короткі теоретичні відомості

Синхронний генератор відрізняється від синхронних машин тим, що магнітне поле переміщається відносно ротора, який його створює, від асинхронних машин АСГ відрізняється тим, що це переміщення створюється стороннім джерелом і є керованим.

Одна з найскладніших проблем у моделюванні – підготовка моделі об'єкта дослідження. Вона розв'язується за допомогою розширення Matlab Simulink завдяки наявності бібліотеки компонентів у вигляді блоків. Це скасовує складання та розв'язання систем алгебраїчних і диференціальних рівнянь й забезпечує візуальний контроль «поведінки» моделі. Бібліотека містить джерела сигналів з будь-якими часовими залежностями, зокрема джерела енергії, перетворювачі з будь-якими передавальними характеристиками, навіть перетворювачі електромеханічні, віртуальні пристрої, що реєструють зміну величини в часі та її значення у цифровому вигляді.

Створення моделі асинхронізованого синхронного генератора з бібліотечних елементів програми Simulink надає можливість незалежного оцінювання адекватності теоретичних моделей (тому що бібліотечні елементи створені авторами програми, а не теорії).

Асинхронізовані синхронні генератори належать до класу машин подвійного живлення «синхронного» принципу дії. Генератори володіють стійкістю при умові синхронно обертаються кута між векторами полів статора і ротора [1]. Структурна схема АСГ зображена на рис. 1.1.

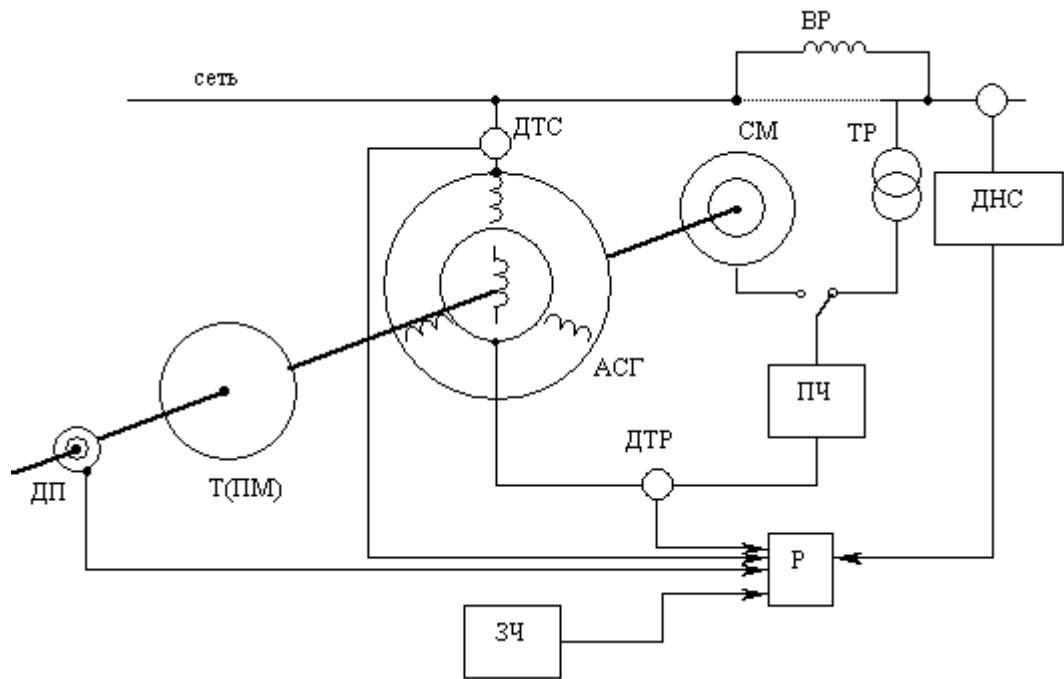


Рисунок 1.1 – Схема генерації енергії АСГ:

ПЧ – перетворювач частоти; Р – регулятор; ЗЧ – задатчик частоти; ДНМ – датчик напруги мережі; ДСС – датчик струму статора; ДСР – датчик струму ротора; Т (ПМ) – турбіна (під часводний механізм); СМ – синхронна машина; ТР – трансформатор; ВР – зовнішня реактивність; ДП – датчик положення

Для створення кругового поля обмотки ротора не обов'язково мають складати симетричну систему. На практиці зустрічаються АСГ як із симетричними, так і з несиметричними обмотками.

Обмотку збудження можна живити через трансформатор від мережі (самозбудження) або за допомогою додаткової синхронної машини, що працює на одному валу з АСГ. Найбільш простим способом є живлення від мережі через трансформатор. Однак цей спосіб має недоліки: мережа завантажується реактивним струмом, що споживається перетворювачем частоти (ПЧ), у неї проникають вищі гармонійні, обумовлені дискретністю роботи, ПЧ. Живлення від синхронної машини не має цих недоліків; окрім того, за допомогою відповідного управління її збудженням, може бути поліпшений та гармонійний склад струмів ротора АСГ. Однак живлення від синхронної машини складніше.

ПЧ створює обертання кругового поля ротора в потрібному напрямку з необхідною амплітудою, частотою та фазою. ПЧ має також забезпечувати вільний обмін енергією між обмотками ротора і мережею через трансформатор або обмотками ротора і валом АСГ через синхронну машину. Як ПЧ використовують переважно тиристорні ПЧ з безпосереднім зв'язком (циклоконвертери).

Основною ланкою системи управління АСГ є регулятор Р. Він керує ПЧ і через нього – полем ротора АСГ. Регулятор має два явно або неявно виражених внутрішніх канали управління, у яких формується закон управління полем ротора (оскільки поле може бути подано у вигляді вектора, що має дві незалежні проекції на осі ротора).

Під час цього електромеханічна стійкість машини подвійного живлення (МПЖ) визначається не частотою обертання полів статора і ротора, а їх взаємним становищем, тобто кутом між векторами, що визначають ці поля. Число виходів регулятора дорівнює числу обмоток ротора.

Основними датчиками, на базі інформації яких регулятор формує закон управління полем ротора, є датчик напруги мережі ДНС і задатчик частоти ЗЧ. Задатчик частоти являє собою автономний генератор синусоїдальних коливань постійної амплітуди. З його виходу знімається інформація про вектор напруги джерела незалежної частоти. Датчик положення ДП надає інформацію про кутове положення ротора АСГ відносно статора і частоти обертання ротора. Датчик ДНС надає інформацію про вектор напруги мережі – про його модулі, фази і частоти. Датчик ДНМ – звичайний вимірювальний трансформатор напруги, ДСС – вимірювальний трансформатор струму.

Більш складним пристроєм є датчик ДСР. Оскільки під час вимірюванні струмів ротора АСГ працюють зі струмами низької частоти, то застосування вимірювальних трансформаторів неможливо. Використовують схеми з шунтами або датчиками Холла.

Модель асинхронізованого турбогенераторного комплексу, у якій можливо виконувати аналіз перехідних режимів енергосистем, що містять АСГ,

складалася з елементів бібліотеки Simulink.

Для вимірювання контрольованих параметрів підключалися віртуальні прилади. Уводяться параметри електричних елементів схеми (напруги, частоти джерел, опору і індуктивності обмоток), близькі до параметрів реального синхронного турбогенератора;

Модель пристрою зображена на рис. 1.2.

Математична модель для визначення характеристик генератора містить асинхронізований синхронний генератор ASG, джерело напруги збудження, навантаження. Як АСГ взята модель трифазної асинхронної машини з фазним ротором з бібліотеки Simulink. Як джерело збудження – бібліотечне джерело трифазної напруги, навантаження виконане у вигляді резисторів.

Модель працює так. До ротора прикладається момент, отриманий як різниця між заданням моментом і моментом, пропорційним частоті обертання. Це надає можливість стабілізувати частоту обертання під час варіювання електричного навантаження генератора. До трифазної обмотки ротора під часкладається напруга від трифазного джерела, тому в роторі створюється обертовий відносно ротора магнітний потік, який індукуює у статорі ЕРС. Значення і частота ЕРС пропорційні алгебраїчній сумі частот обертання ротора та обертання магнітного потоку відносно ротора.

Під дією ЕРС через обмотки статора і опору навантаження проходить струм, яким енергія передається від генератора в навантаження. Магнітний потік, створений струмом навантаження в обмотці статора, алгебраїчно складається з магнітного потоку ротора, тому ЕРС у статорі створюється сумарним потоком.

Особливість АСГ полягає в тому, що ЕРС створюється у роторі та віднімається з напруги збудження, тому струм збудження проходить під дією цієї різниці, а не тільки джерела збудження, як у синхронному генераторі.

Прототипом для задання параметрів є синхронний турбогенератор потужністю 6 МВт, номінальною напругою 6,3 кВ.

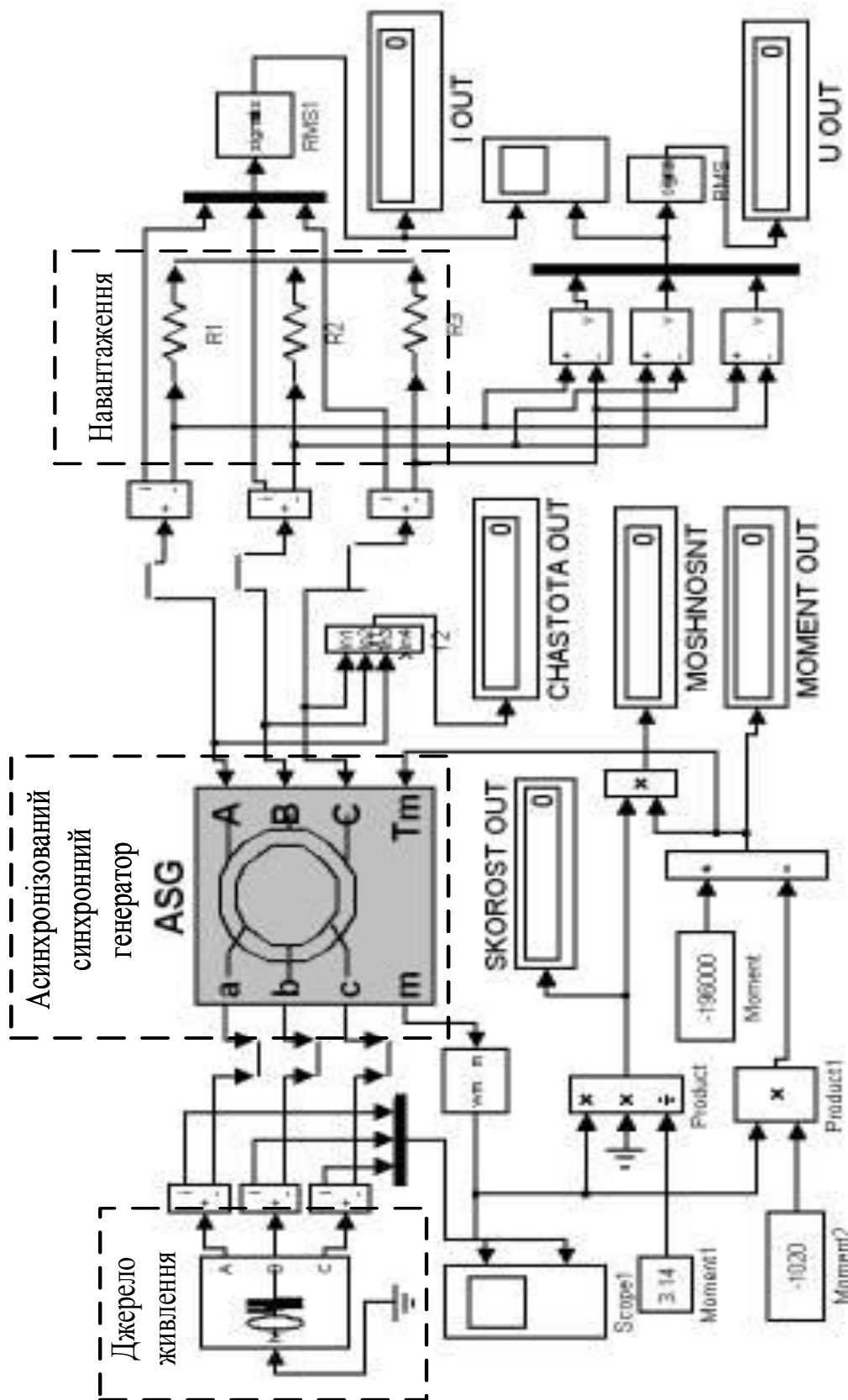


Рисунок 1.2 – Модель АСГ з бібліотечних елементів Simulink

Характеристики холостого ходу визначаються з опором резисторів навантаження на два порядки більше, ніж номінальний опір, тому струм

навантаження мав незначні значення. Результати подані на рис. 1.3.

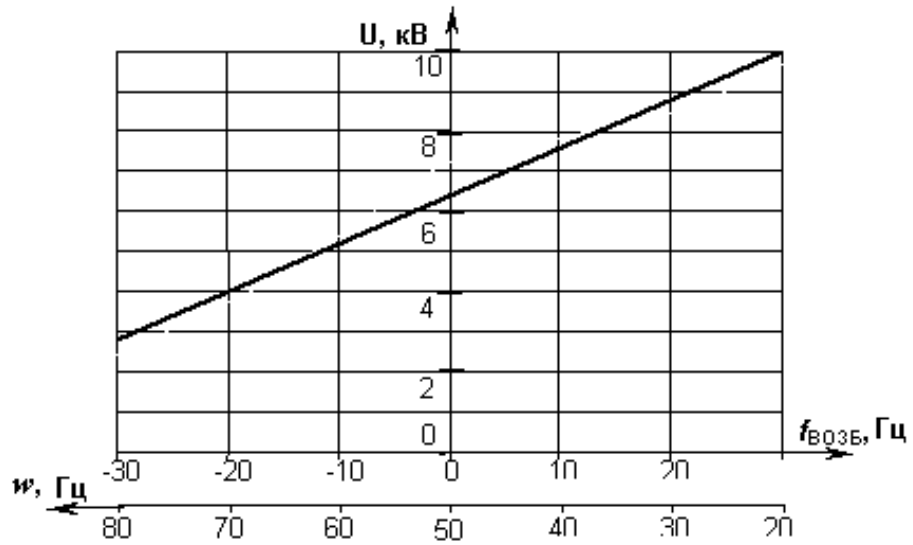


Рисунок 1.3 – Залежність напруги генератора від частот обертання і збудження під час холостого ходу

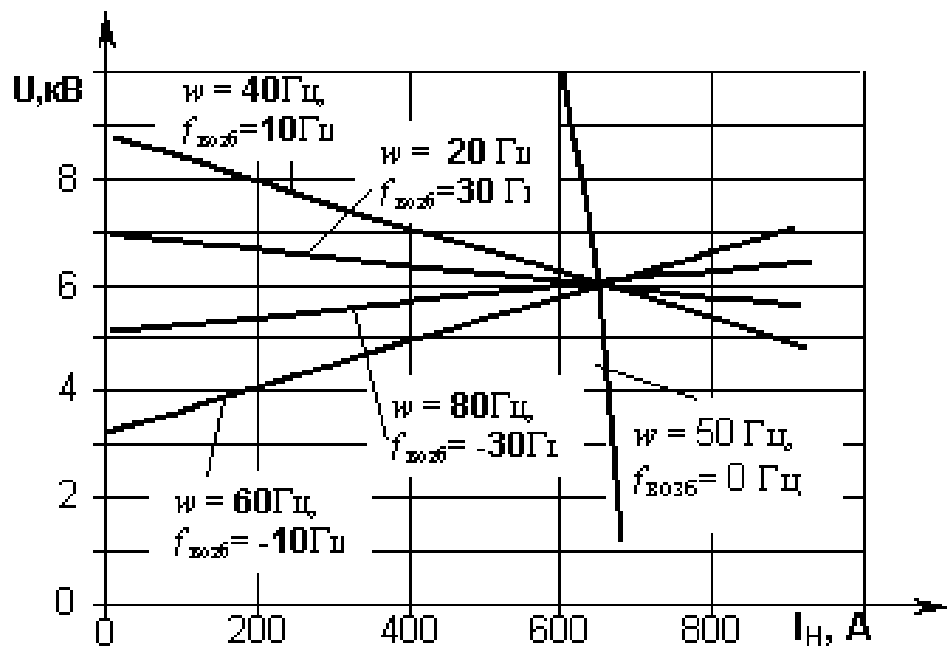


Рисунок 1.4 – Зовнішні характеристики АСГ з частотою вихідної напруги 50 Гц

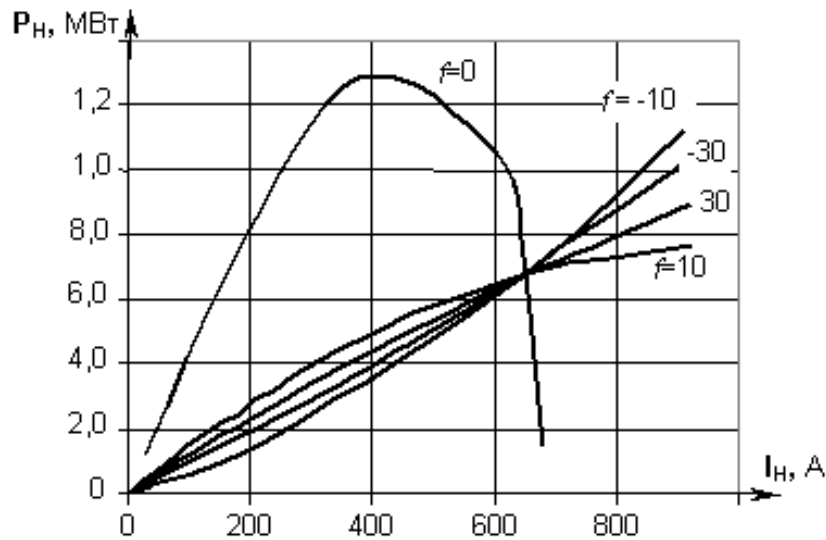


Рисунок 1.5 – Залежність генерується від струму навантаження з різними частотами збудження

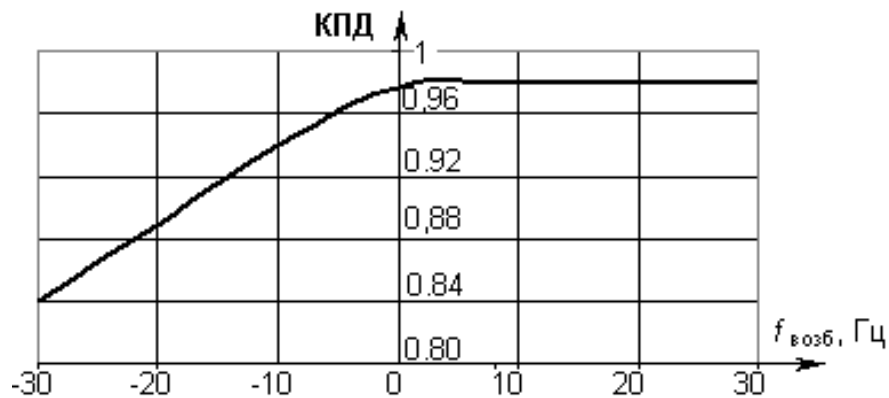


Рисунок 1.6 – ККД генератора залежно від частоти збудження з частотою генерованої напруги 50 Гц

Порядок виконання роботи

1. Створити структурну схему математичної моделі ДПС послідовного збудження з активним навантаженням у режимі динамічного гальмування (дані для моделювання: синхронний турбогенератор потужністю 6 МВт, номінальною напругою 6,3 кВ).

2. Отримати графіки залежності напруги за умови: частота обертання варіювалася у діапазоні 20–80 Гц, частота збудження варіювалася у діапазоні ± 30 Гц. Напруга збудження встановлювали такою, щоб з частотою обертання ротора 50 Гц в обмотці статора формується ЕРС 6,3 кВ, а з частотою 50 Гц – з

частотою збудження, рівною 0. У процесі моделювання змінювалася частота обертання з нульовою частотою збудження, потім частота збудження з частотою обертання 50 Гц.

3. Отримати зовнішні характеристики навантаження у разі зміни опору резисторів навантаження, з частотою напруги, що генерує 50 Гц. Частота обертання змінювалася у діапазоні 20–80 Гц, частота збудження установлювалася у діапазоні ± 30 Гц так, щоб частота напруги, що генерується була 50 Гц. Напруга збудження установлювалася така, щоб за номінального струму навантаження і частоти напруги, значення напруги, що генерується, було 6 кВ.

4. Побудувати ККД залежно від частоти збудження. ККД подати як залежність переданої потужності від струму навантаження з різними частотами в діапазоні ± 30 Гц з постійною напругою збудження генератора.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи.
3. Структурна схема математичної моделі.
4. Характеристики АГС графіки залежності напруги, зовнішніх характеристик навантаження, ККД залежності від частоти збудження.
5. Висновки щодо роботи.

Контрольні питання

1. Поясніть принципи роботи асинхронізованого синхронного генератора.
2. Які недоліки має спосіб живлення обмотки збудження АГС від мережі через трансформатор?
3. Як визначається електромеханічна стійкість машини подвійного живлення?
4. Наведіть перелік датчиків, які використовують у наведеній системі АСГ.
5. Поясніть принцип використання наведених датчиків системи АСГ.

6. Які елементи з бібліотеки Simulink використовувалися для складання моделі АСГ?

7. Поясніть принцип роботи математичної моделі АСГ, що реалізована на елементах з бібліотеки Simulink.

Література: [1, с. 98–103; 2, с. 201–203; 3, с. 38–42].

Лабораторна робота № 2

Тема. Моделювання асинхронного двигуна з живленням від аварійного дизель-генератора

Мета: вивчення режимів роботи та набуття навичок математичного моделювання роботи асинхронного двигуна у разі аварійного відключення і живлення від дизель-генератора.

Короткі теоретичні відомості

Дизель-генератор, який використовують як резервне джерело живлення, характеризується таким параметром, як час готовності до прийняття навантаження. Час готовності складається з таких часових інтервалів: час очікування появи базової мережі у разі її зникнення до під часіняття розв'язання про запуск дизель-генератора – 5 с; тайм-аут відображення на дисплеї про майбутній запуск з ухваленням розв'язання про запуск – 5 с; запуск двигуна; час включення стартера – 3 спроби по 10 с з паузами між спробами на відновлення акумулятора по 30 с (у типовому випадку час включення стартера – 1–10 хв плюс 2 хв на проведення контролю успішного запуску); прогрівання двигуна. Прогрівання двигуна визначається температурою охолоджувальної рідини двигуна момент його запуску.

Після завершення прогріву двигуна відбувається підключення навантаження. На дизель-генераторі можуть бути установлені електродігрівачі різної потужності, які забезпечують полегшення запуску двигуна у разі низької температури навколишнього середовища і зменшують час під часіняття навантаження. Так, підігрівач потужністю 8700 Вт забезпечує орієнтовний перегрів охолоджувальної рідини дизель-генератора щодо

температури навколишнього середовища на 40–44 С, а підігрівач потужністю 1000 Вт – на 48–52 °С у разі розташування дизель-генератора у приміщенні (або на вулиці в безвітряну погоду). Отже, дизель-генератор, забезпечений підігрівачем 700 Вт і розташований у приміщенні за температури 25 °С, може під часійняти на себе навантаження через 18–20 с після зникнення зовнішньої мережі. Точно такий же дизель-генератор, що знаходиться у неопалюваному приміщенні за температури – 20 °С прийме на себе навантаження через 315–330 с після зникнення зовнішньої мережі. Автоматичний запуск двигуна дизель-генератора без електропідігрівача за температури навколишнього середовища менше – 10 °С є проблематичним і не рекомендується.

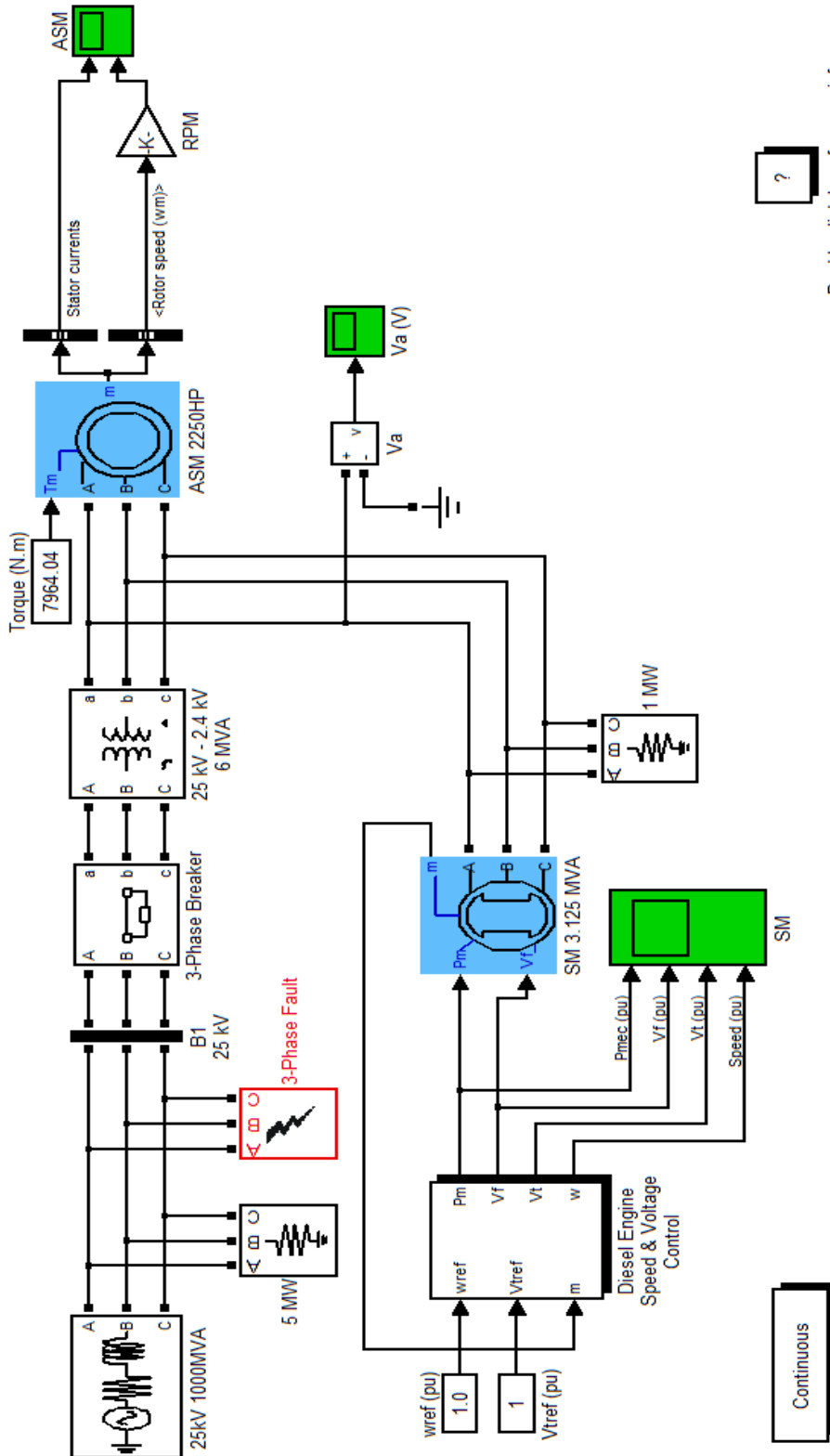
Схема, що складається з дизель-генератора і асинхронного двигуна у вигляді навантаження та має опір (ASM), живиться від 2400 В від мережі на 25 кВ до 6 MVA з понижувальним трансформатором 25/2 kV у разі аварійного відключення мережі живиться від аварійного синхронного дизель-генераторного двигуна (СД), наведена на рис. 2.1.

Мережа на 25 кВ змодельована простим еквівалентним джерелом R-L (рівень 1000 короткого замикання MVA) і з вантаження на 5 МВт.

Асинхронний двигун потужністю 2,4 кВ і синхронна машина оцінені 33125 MVA, 2,4 кВ. Відключення живлення СМ виконано стандартним блоком вимкнення, забезпеченим у машинній бібліотеці. Дизельний двигун і система керування змодельовані блоком Simulink.

Послідовність роботи математичної моделі.

Спочатку двигун розвиває номінальну швидкість (1,49 МВт), і дизельний генератор знаходиться у резерві. Синхронна машинна система збудження керується 2400-вольтним елементом В2 напругою в 1 pu. У час $t = 1$ с мережа живлення 25 кВ замикається на землю, дизель-генератора увімкненням вимикача в $t = 1,4$ с.



Double click here for more info

Рисунок 2.1 – Модель асинхронного двигателя с аварийным дизель-генератором

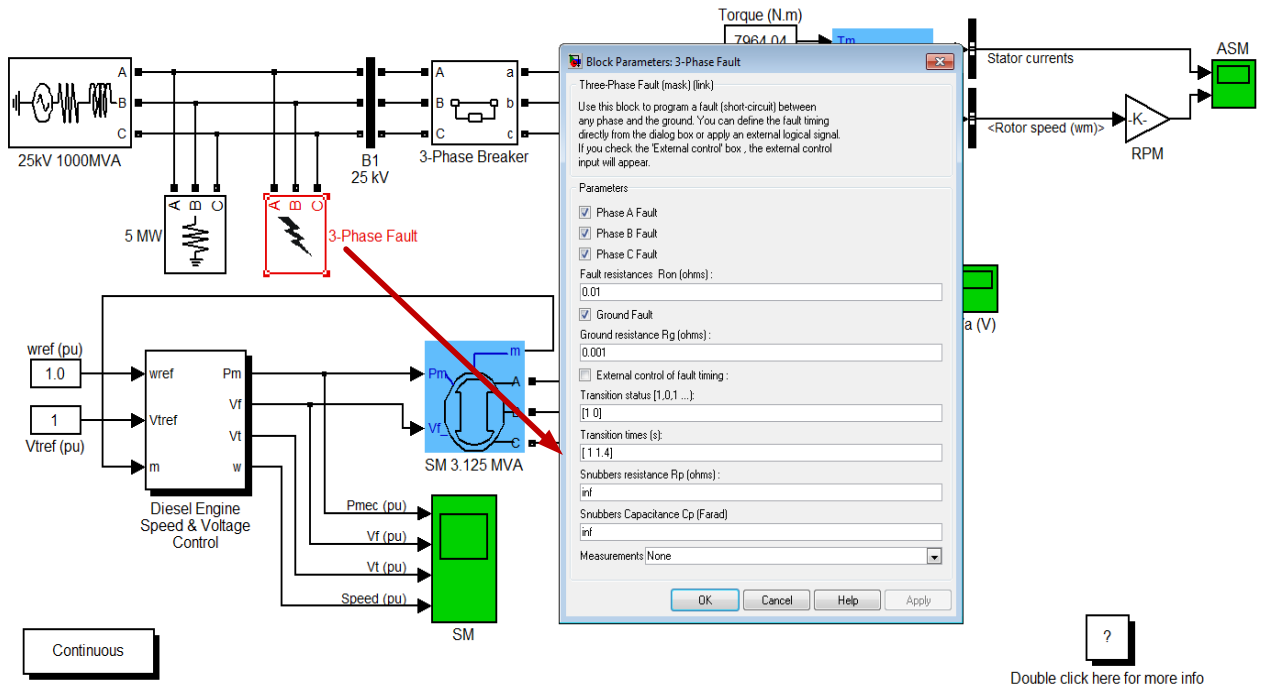


Рисунок 2.2 – Блок налаштування часу відключення мережі живлення

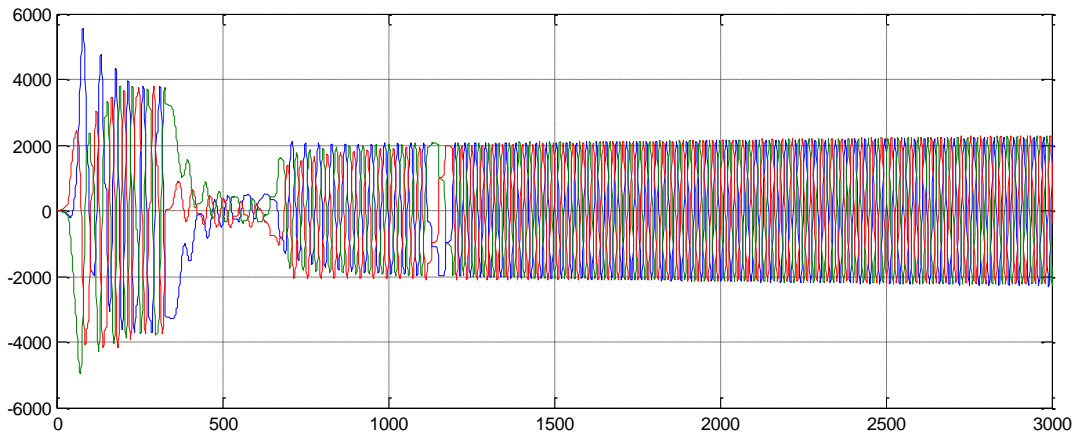


Рисунок 2.3 – Напряга на статорі асинхронного двигуна

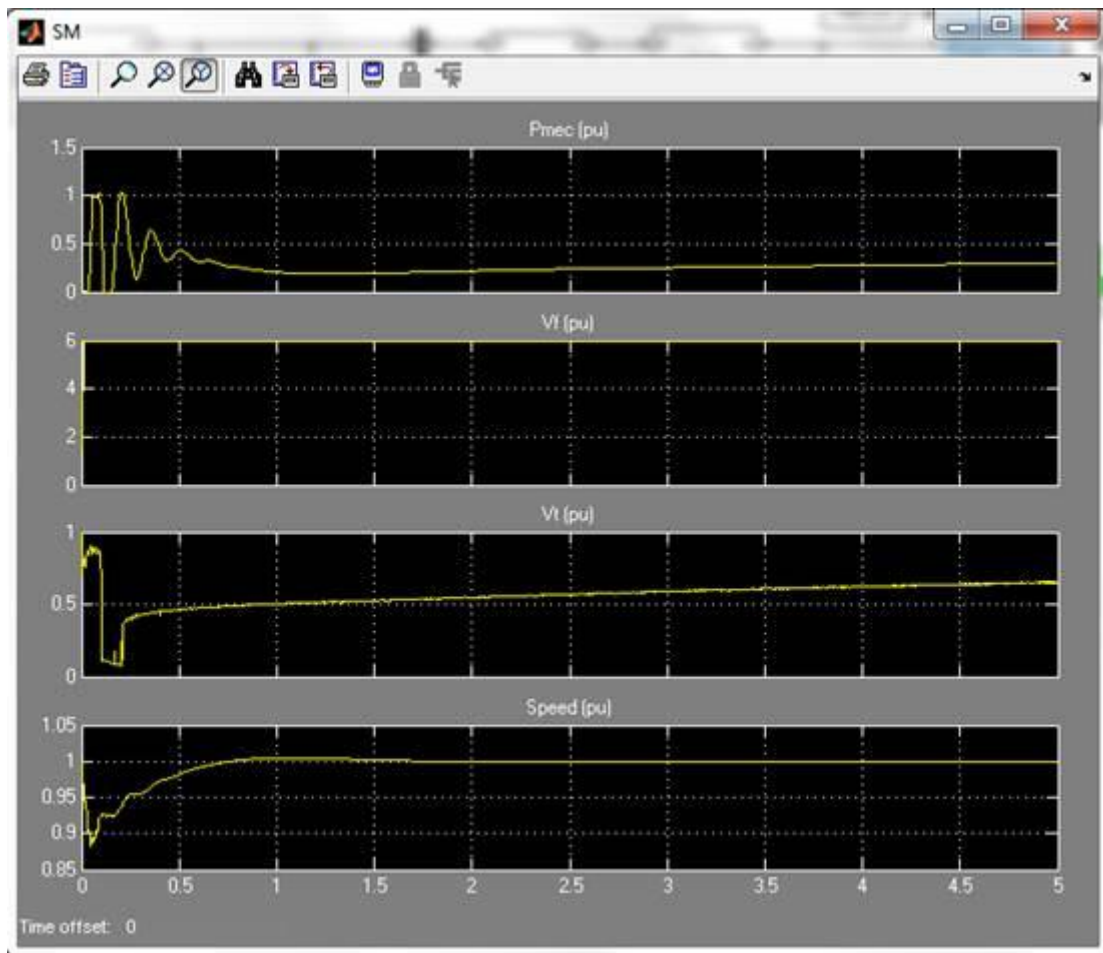


Рисунок 2.4 – Осцилограма моделі

Порядок виконання роботи

1. Запустити MatLad, відкрити додаток Simulink, у папці Machine Models знайти Emergency Diesel-Generator and Asynchronous Motor і запустити модель. Початок моделювання. Якщо початкові умови SM і ASM належно не настроєні, то напруга та струми машини не запускаються у стаціонарному режимі. Зупиніть моделювання.

2. Для того, щоб почати моделювання, необхідно визначити синхронну машину і асинхронний двигун для встановленого навантаження. Відкрийте Powergui та виберіть «Load Flow & Machine initialization». Машина «Тип шини» має бути вже визначена як «PV-генератор», що вказує на те, що навантаженням для генератора буде асинхронна машина, що формує активну потужність і напругу на клеммах генератора. Укажіть потрібні значення, увівши такі параметри: потік навантаження: $U_{AB} (V_{rms}) = 2400$, $P (watts) = 0$. Укажіть

також механічну потужність ASM, увівши P_{mec} (Watts) = $2000 \cdot 746$. Потім натисніть кнопку «Execute Load Flow».

Після того, як значення навантаження визначено, три напруги між лінією та трьома струмами машин оновлюються. Відображено реактивну потужність, механічну потужність і напругу поля: $Q = 856$ кВар; $P_{mec} = 844$ Вт (потужність, що вимагається резистивними втратами в обмотці статора); напруга поля $E_f = 1,4273$; відображаються також активні та реактивні потужності, поглинені двигуном, ковзанням і крутним моментом.

3. Система регулювання дизельного двигуна та система збудження SM містять інтегратори та передавальні функції, які також визначаються навантаженням. Відкрийте блок GOVERNOR у підсистемі дизельного двигуна. Зауважте, що початкова механічна потужність була автоматично встановлена на 0,00027 pu (844 W). Тепер відкрийте блок EXCITATION. Зверніть увагу, що в останньому рядку меню блока, початкова напруга V_{t0} і напруга V_{f0} поля були встановлені відповідно 1,0 і 1,4273 pu. Значення постійного блока, підключеного до вхідного моменту асинхронного двигуна, також автоматично встановлюється на 7964 Н.

4. Відкрийте поля SM і ASM, що відображають сигнали синхронної та асинхронної машин. Почніть моделювання.

Зауважте, що під час несправності напруга на виході падає приблизно до 0,2 pu і напруга збудження досягає межі 6 pu. Після налаштування і запобігання порушень, виникнення механічної потужності SM збільшується від початкового значення 0 pu до кінцевого значення 0,80 pu, що вимагається активним і реактивним навантаженням (2,49 МВт). Через 3 хв напруга на клемі стабілізується на рівні 1 pu. Швидкість двигуна тимчасово зменшується від 1789 об/хв до 1635 об/хв, після чого вона відновлюється близько до свого нормального значення через 2 хв.

Примітка! pu – значення параметрів машини у відносних одиницях.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи.
3. Структурна схема математичної моделі.
4. Характеристики дизель-генератора та асинхронної машини у разі аварійного відключення та живлення від дизель-генератора $\omega = f(t)$, $i = f(t)$, $M = f(t)$, $\omega = f(i)$, $\omega = f(M)$.
5. Висновки щодо роботи.

Контрольні питання

1. Посніть під часницю увімкнення дизель-генератора.
2. Які умови необхідно виконати для увімкнення дизель-генератора?
3. Назвіть пояснення елементів бібліотеки Simulink, що застосовують у математичній моделі.
4. Як виконується аварійне відключення мережі живлення?
5. Через який час після аварійного відключення мережі живлення вмикається дизель-генератор і чому?
6. Які налаштування необхідно виконати на початку моделювання для системи регулювання дизельного двигуна та системи збудження генератора?

Література: [6, с. 33–58; 8, с. 14–48].

Лабораторна робота № 3

Тема. Моделювання асинхронного генератора і машини подвійного живлення з конденсаторним самозбудженням

Мета: вивчення методів і набуття навичок математичного моделювання перехідних процесів у генераторі та машині подвійного живлення з конденсаторним самозбудженням.

Короткі теоретичні відомості

Асинхронні генератори (АГ) з конденсаторним самозбудженням зазвичай застосовують у бензоелектричних агрегатах і МГЕС. У вітроенергетичних установках (ВЕУ) набули поширення машини подвійного

живлення (МПЖ) з перетворенням частоти у ланцюзі фазного ротора. На сьогодні у ВЕУ використовують близькі за конструкціями до МПЖ асинхронізовані генератори. З постійною частотою обертання, наприклад, у бензоагрегатах, можна використовувати класичну МПЖ з конденсаторним самозбудженням.

Обмотки статора і фазного ротора цієї машини вмикаються паралельно або послідовно, під час цього їх ЕРС рівні. З таким увімкненням ротор дво полюсної машини з частотою ЕРС 50 Гц обертається з частотою $n_r = 6000$ об/хв, потужність, порівняно з асинхронною машиною з фазним ротором під час роботи у звичайному режимі, подвоюється.

Для побудови цієї математичної моделі використовують сучасні програмні продукти візуального блочного імітаційного моделювання такі, як MATLAB та його пакети розширення Simulink і SimPowerSystems.

Створення електротехнічного блока машини подвійного живлення з повністю доступними клемми (виводами) обмоток і нелінійністю, що забезпечує моделювання генераторного режиму з конденсаторним самозбудженням, дозволить використовувати всю силу середовища Matlab, Simulink, SimPowerSystems під час дослідження генераторного режиму з конденсаторним самозбудженням асинхронної машини і класичної МДП.

Для створення блока скористаємося відомими рівняннями машини, поданими у так званій загальмованій трифазній системі координат a, b, g . Доповнимо ці рівняння виразом, за допомогою якого врахуємо зміну взаємної індуктивності у разі насичення магнітного ланцюга, наприклад, формулою Фрелиха, і виразами, які дозволяють перетворювати напруги і струми ротора з нерухої на синхронну систему координат, що обертається з частотою $\omega = \omega_p/2$, і навпаки. На основі цих рівнянь створений електротехнічний блок генератора, до якого підключені інші стандартні блоки з бібліотек Simulink і SimPowerSystems. SimPowerSystems модель МДП з послідовно з'єднаними обмотками і конденсаторним самозбудженням під час підключення однофазного навантаження зображена на рис. 3.1.

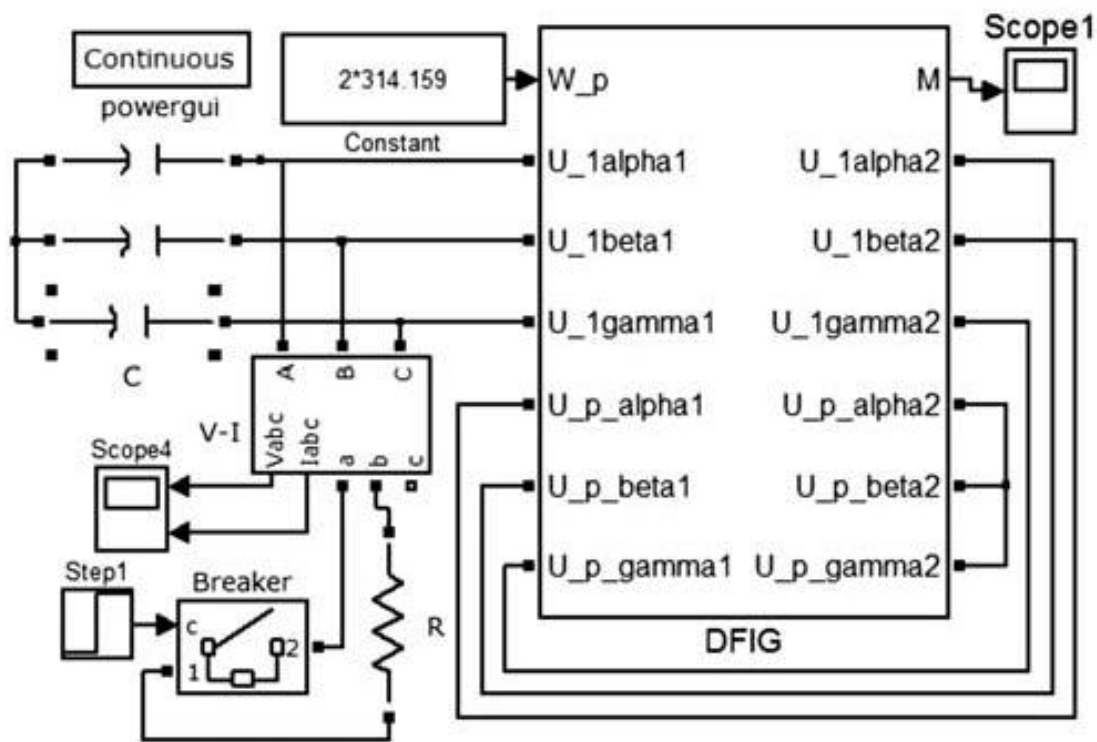


Рисунок 3.1 – Модель МПЖ з послідовно з'єднаними обмотками і конденсаторним самозбудженням

Основою моделі є розроблений електротехнічний блок DFIG (Doubly fed induction generator), що зображений на рис. 3.2 і який складається з трьох підсистем.

Перша підсистема S-Function є Simulink функцією, яка написана на основі шаблону, наведена у додатку А у вигляді m-файлу.

У цій функції подано математичний опис генератора: нелінійна залежність взаємної індуктивності від намагнічування струму; система лінійних рівнянь для визначення струмів через потокозчеплення та індуктивності; система диференціальних рівнянь. Друга підсистема перетворює напруги ротора з обертової на нерухому систему координат (рис. 3.3), а третя перетворює струм з нерухомої на обертову систему координат (рис. 3.4).

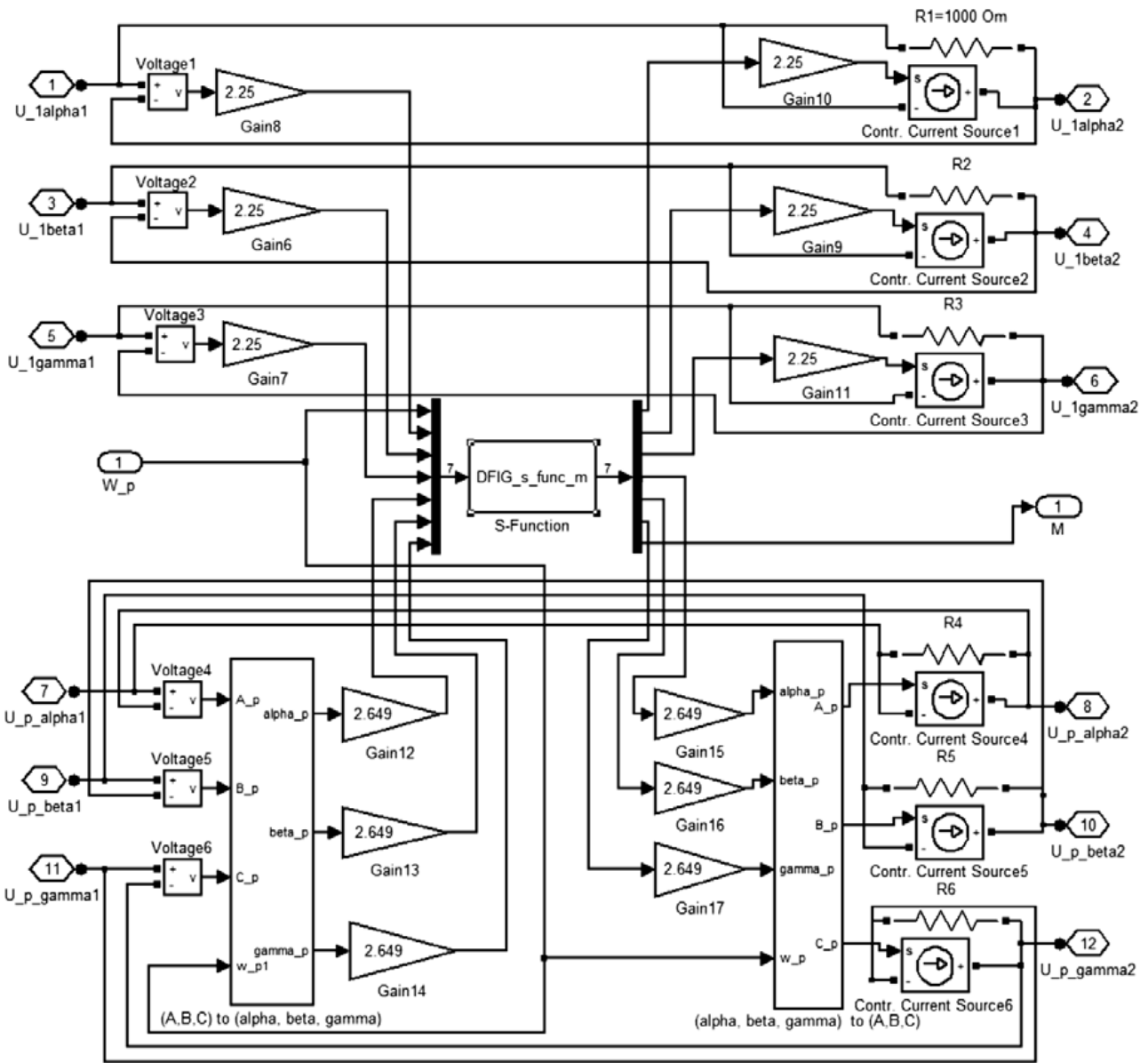


Рисунок 3.2 – Електротехнічний блок DFІG

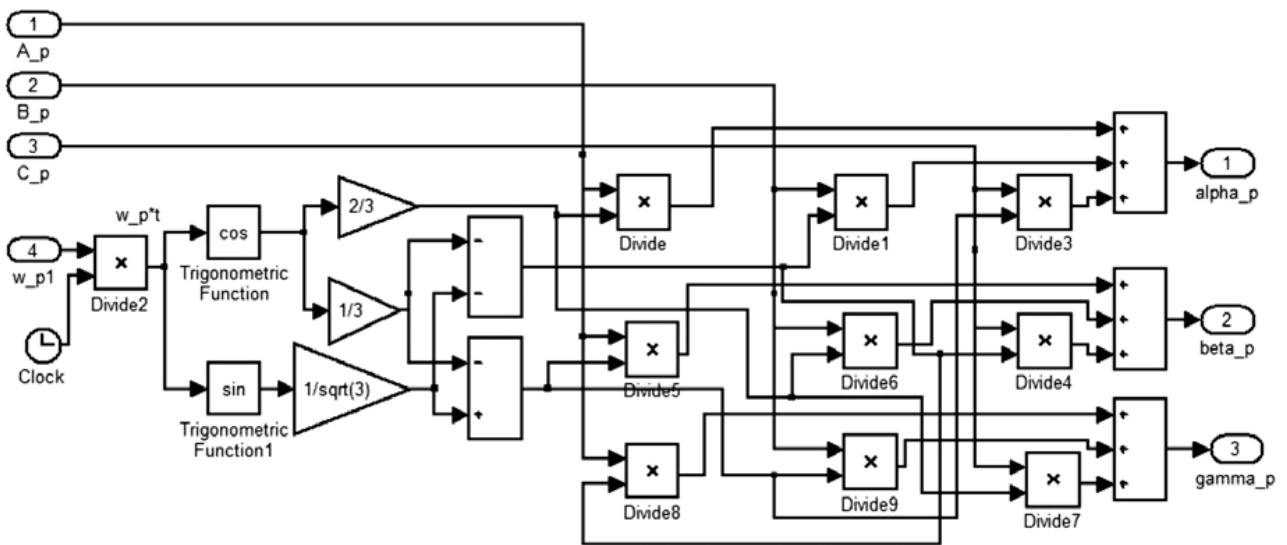


Рисунок 3.3 – Блок (A, B, C) to (alpha, beta, gamma)

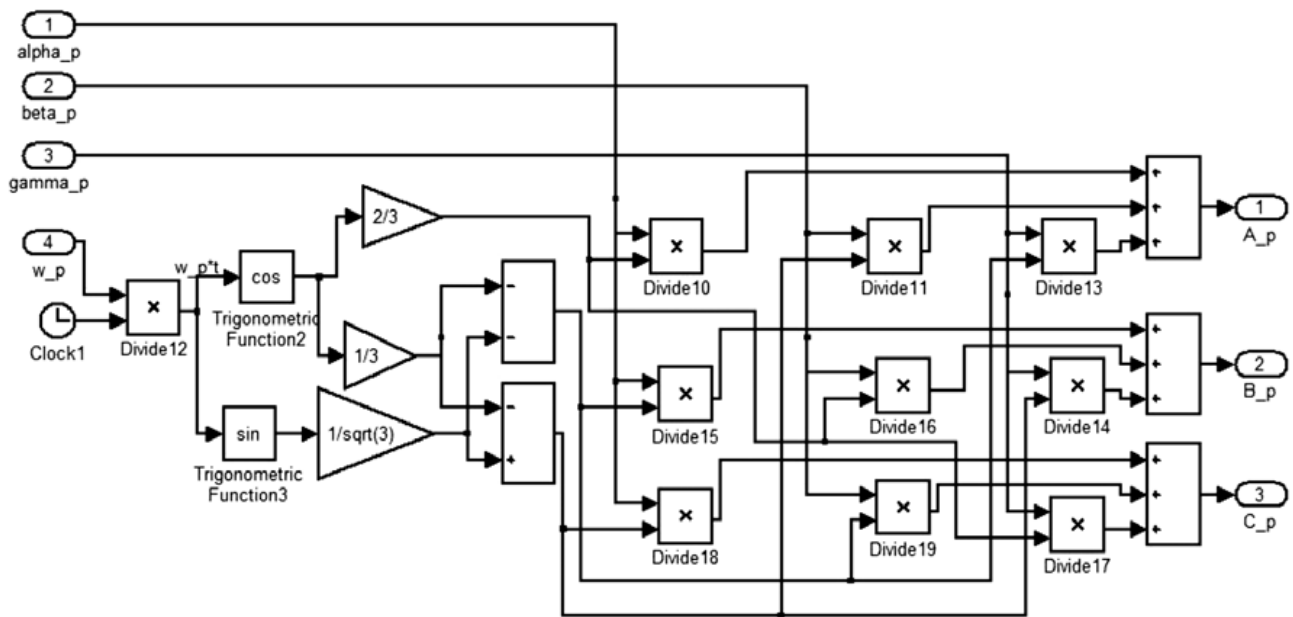


Рисунок 3.4 – Блок (alpha, beta, gamma) to (A, B, C)

Спочатку параметри ротора були під часведені до обмотки статора і здійснено моделювання асинхронної машини з фазним ротором серії МТ–11–6. Для отримання реальних значень струмів і напруг ротора (рис. 3.2) на вході блока перетворення координат (alpha, beta, gamma) to (A, B, C) і на виході блока (A, B, C) to (alpha, beta, gamma) були установлені блоки посилення Gain зі значеннями коефіцієнта трансформації 2,649.

Для отримання реальних струмів і напруг нової обмотки статора у блок DFIG були введені відповідні блоки Gain з коефіцієнтами 2,25 (рис. 3.2).

Під час моделювання генератора використовувалися параметри асинхронної машини з фазним ротором серії МТ–11–6, параметри обмотки ротора якої були під часведені до обмотки статора [10]. Ємність конденсаторів на фазу становила $C_{мдп} = 35 \text{ мкФ}$.

Порядок виконання роботи

1. Створити структурну схему математичної моделі генератора і машини подвійного живлення з конденсаторним самозбудженням (дані для моделювання наведено у додатку А табл. А.1).
2. Записати програму розрахунку у S-Function математичної моделі.
3. Отримати графіки перехідних процесів системи з різними значеннями

навантаження, а саме: $M_0 = M_n, 0,8 M_n, 0,6 M_n, 0,4 M_n$.

4. Отримати криві струму і напруги, після підключення до двох фаз генератора активного опору $r_{\text{нагр}} = 37,9 \text{ Ом}$.

5. Зобразити криву процесу самозбудження асинхронного генератора (АГ) з тими ж параметрами, що і у генератора на базі МДП, (для моделювання АГ використовувався блок DFIG. Обмотка ротора була замкнута накоротко, а обмотка статора з'єднана в зірку).

Зміст звіту

1. Титульна сторінка.
2. Назва та мета роботи.
3. Структурна схема математичної моделі.
4. Отримані електричні та електромеханічні характеристики системи.
5. Висновки щодо роботи.

Контрольні питання

1. Галузь застосування асинхронних генераторів з конденсаторний самозбудженням.
2. Поясніть принцип роботи машин подвійного живлення.
3. Наведіть і поясніть стандартні блоки з бібліотек Simulink і SimPowerSystems що використовували під час складання математичної моделі МПЖ з послідовно з'єднаними обмотками та конденсаторним самозбудженням.
4. Поясніть призначення підсистеми S-Function та її функціональні можливості.
5. Для чого потрібні блоки (A, B, C) to (alpha, beta, gamma) та (alpha, beta, gamma) to (A, B, C)?
6. Яку функцію виконує елемент Continuous?

Література: [5, с. 100–1093; 6, с. 13–16, с. 89–93; 8, с. 46–62].

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Під час оцінювання роботи студентів на лабораторних заняттях беруть до уваги якість оформлення звіту з лабораторних робіт, якість відповідей на питання звіту, правильність і повноту відповідей на питання, поставлені викладачем у процесі захисту лабораторних робіт.

Бали за виконання лабораторних робіт загалом можуть бути одержані лише за умови, що виконано всі передбачені завдання лабораторних робіт і складено звіти.

Кількість балів визначається зістовністю наведених пояснень, чіткістю формулювань, якістю викладання матеріалу та його оформлення. Під час цього враховуються правильність оформлення звіту, володіння державною мовою, відповідність розрахункового матеріалу та іншого оформлення чинним стандартам. Розподіл балів за лабораторні роботи з навчальної дисципліни «Електропід часвод з автономними джерелами живлення» наведено нижче.

Критерії оцінювання роботи студентів на лабораторних заняттях:

- відвідування лабораторного заняття – 2 бали за заняття;
- підготовка до лабораторних занять – 1 бал за семестр;
- виконання лабораторних робіт – 2 бали за семестр;
- підготовка звітів до лабораторних робіт – 2 бали за семестр;
- захист лабораторних робіт – 10 балів за роботу;
- своєчасність захисту лабораторних робіт – 2 бали за семестр;
- активність студента на лабораторних заняттях – 1 бала за семестр.

Для студентів заочної форми навчання вводиться коефіцієнт 0,5 для усіх критеріїв оцінювання, окрім захисту лабораторних робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Моделювання електромеханічних систем / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін та ін.; Кременчук: 2001. 410 с.
2. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. СПб: Корона, 2001. 320 с.
3. Мустафаев Р. И., Гасанова Л. Г. Моделирование и исследование режимов работы синхронных генераторов ветроэлектрических установок під час частотном управленні. Электричество, 2010, № 7.
4. Шакарян Ю. Г. Асинхронизированные синхронные машины. М.: Энергоатомиздат, 1984.
5. Kundu P., Tandon A. K. Capacitor self_excited double_armature synchronous generator for enhanced power output — Collect. Techn. Pap. Pt. 3 of 29 th Intersoc. Energy Conver. Eng. Conf., Monterey (Calif.), 7—11 Aug., 1994: Washington (D.C.), 1994.
6. Джендубаев А.–З. Р. Исследование автономного асинхронного генератора с конденсаторным самовозбуждением и параллельным соединением обмоток статора и фазного ротора. Электричество, 2005, № 12.
7. Черных И. В. Моделирование электрических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008.
8. Черных И. В. Simulink: инструмент моделирования динамических систем. URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/index.php>
9. Амбарцумова Т. Т., Ле Куанг Кыонг. Макромоделирование многоконтурных асинхронных двигателей в среде MatLab_Simulink. Изв. вузов. Электромеханика, 2012, № 1.
10. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 2001.
11. Глазенко Т. А., Хрисанов В. И. Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропід часвода малой мощности. Л.: Энергоатомиздат, 1983.
12. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электропід часводе. М.: Энергия, 1977.

Лістинг S-файлу математичної моделі до лабораторної роботи № 3

% Файл: DFIG_s_func_m.m

```
function[sys,x0,str,ts] = DFIG_s_func_m(t,x,u,flag)
global r_1 r_2 L_1 L_2 p J_ad Tok M;
switch flag,
    case 0,
        [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes();
    case 1,
        sys=mdlDerivatives(t,x,u);
    case 3,
        sys=mdlOutputs(t,x,u);
    case { 2, 4, 9 },
        sys = [ ];
    otherwise
        error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
```

```
function [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes()
sizes = simsizes;
sizes.NumContStates = 6;
sizes.NumDiscStates = 0;
sizes.NumOutputs = 7;
sizes.NumInputs = 7;
sizes.DirFeedthrough = 0;
sizes.NumSampleTimes = 1;
sys = simsizes(sizes);
x0 = [0 0 0 0 0 0]; str = [ ]; ts = [0 0];
global r_1 r_2 L_1 L_2 p J_ad Tok M;
Tok = [0,0,0, 0,0,0]; M = 0;
```

```
% Параметры ротора АД серии МТ-11-6
% під час введення к обмотке статора
r_1 = 3.67; r_2 = 4.28;
L_1 = 0.00786; L_2 = 0.01251;
p = 3; J_ad = 0.0425;
```

```
function sys=mdlDerivatives(t,x,u) global r_1 r_2 L_1 L_2 p J_ad Tok M;
% Намагничивающий ток
```

```

i_m_alfa = (2/3)* (Tok(1)+Tok(4)) - 0.5*( (Tok(2)+Tok(5)) + (Tok(3)+Tok(6)) );
i_m_beta = ((Tok(2)+Tok(5)) - (Tok(3)+Tok(6)))/sqrt(3);
i_m = sqrt( i_m_alfa^2 + i_m_beta^2);
% Взаимная индуктивность. Формула Фрелиха
M = (2/3)*(1./(3.3631 + 0.6247*i_m)); mm = M/2;

```

```

% Матрица индуктивностей

```

```

LL = [L_1+M -mm -mm M -mm -mm ;
      -mm L_1+M -mm -mm M -mm ;
      -mm -mm L_1+M -mm -mm M ;
      M -mm -mm L_2+M -mm -mm ;
      -mm M -mm -mm L_2+M -mm ;
      -mm -mm M -mm -mm L_2+M];

```

```

% Расчет токов

```

```

Tok = LL\x(1:6) ;

```

```

% Система дифференциальных уравнений

```

```

bb(1)= u(2) _r_1*Tok(1);
bb(2)= u(3) _r_1*Tok(2);
bb(3)= u(4) _r_1*Tok(3);
bb(4)= u(5) _r_2*Tok(4) -(x(5)_x(6))*u(1)/ sqrt(3);
bb(5)= u(6) _r_2*Tok(5) -(x(6)_x(4))*u(1)/ sqrt(3);
bb(6)= u(7) _r_2*Tok(6) -(x(4)_x(5))*u(1)/ sqrt(3);
sys = bb;

```

```

function sys=mdlOutputs(t,x,u)

```

```

global r_1 r_2 L_1 L_2 p J_ad Tok M;
sys = [Tok(1) Tok(2) Tok(3) Tok(4)...
Tok(5) Tok(6) M ];

```

Таблиця А.1 – Параметри електродвигунів

7FMTK132S4, 7FMTKH132S4 ()															
R1	R2	X1	X2	Un	Pn	КПД	cosf	fn	пн	Mн	In	Io	Km	Xm	2p
1,593	1,247	2,22	3	360	3,95	80,7	0,73	47	667	56,5	10,7	6,7	2,3	33,5	8
1,351	0,822	1,758	1,716	360	5,35	83,5	0,84	47	897	57	12,2	5,9	2,4	40,32	6
0,853	0,573	1,147	1,183	360	7,2	85,1	0,83	47	901	76,3	16,3	8,5	2,7	27,74	6
0,687	0,505	1,585	1,59	360	7,5	87,2	0,87	47	1356	52,8	15,8	5,8	3	40,57	4
0,431	0,381	0,91	1,11	357	10,1	88,5	0,87	47	1357	71,1	21,1	8	3,4	28,69	4
0,257	0,023	0,7	1,5	360	14,65	88,35	0,8	47	1366	102,4	33	14,3	2,7	12,29	4
0,198	0,121	0,458	0,6	360	21	90,12	0,87	47	1376	145,7	42,7	16,1	2,6	15,16	4
0,098	0,077	0,261	0,428	360	33	91,89	0,87	47	1377	229	66	23,5	2,7	9,86	4
0,68	0,054	0,195	0,343	357	41	92,6	0,85	47	1382	283	84	33	2,8	9,86	4
0,054	0,037	0,178	0,303	360	49,5	93,14	0,87	47	1386	341	97	31	2,5	6,75	4

Визначення та одиниці вимірювання: R1, R2, X1, X2, Xm – параметри Т-подібної схеми заміщення асинхронного електродвигуна, Ом, розраховані для однієї фази; Un – номінальна напруга двигуна, В; fn – номінальна частота напруги живлення, Гц; Pn – номінальна потужність двигуна, кВт; КПД – коефіцієнт корисної дії в номінальному режимі,%; cosf – номінальний коефіцієнт потужності, в.о.; пн – номінальна частота обертання двигуна, об/хв; In – номінальний струм статора, А; Mн – номінальний момент двигуна, Нм; Km – кратність максимального моменту, в.о.; Io – струм холостого ходу, А.

Зразок оформлення титульної сторінки звіту з лабораторної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І СИСТЕМ
УПРАВЛІННЯ

КАФЕДРА СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ І
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

НАВЧАЛЬНА ДИСЦИПЛІНА «ЕЛЕКТРОПРИВОД З АВТОНОМНИМИ
ДЖЕРЕЛАМИ ЖИВЛЕННЯ»

ЗВІТ
З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 1

Виконав:
студент групи
ПІБ

Перевірив:
старш. викл. кафедри САУЕ
ПІБ

Кременчук 2019

Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електропривод з автономними джерелами живлення» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладачі старш. викл. О. А. Хребтова

Відповідальний за випуск Д. Й. Родькін

Підп. до др. _____. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ під часм. Зам. № _____. Безкоштовно.

Редакційно–видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600