

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни «Електричні машини»
для студентів спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(спеціалізація «Електричні машини і апарати»)
усіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електричні машини» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (спеціалізація «Електричні машини і апарати») усіх форм навчання / Укл.: Є.В. Куланіна, Д.О. Літвінов, В.Г. Савельєв, Г.В. Дьомічева, І.Д. Галушко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 82 с.

Укладачі: Є.В. Куланіна, старш. викладач, к.т.н;
Д.О. Літвінов, старш. викладач;
В.Г. Савельєв, доцент;
Г.В. Дьомічева, завідувач лабораторією
І.Д. Галушко, завідувач лабораторією.

Рецензент Д.С. Яримбаш, доцент, д.т.н

Відповідальний за випуск Т.Є. Дівчук, старш. викладач

Затверджено
на засіданні кафедри
«Електричні машини»
Протокол № 8
від «22» березня 2018р.

Затверджено до видання
НМК Електротехнічного факультету
Протокол № 8
від «29» березня 2018р.

З М І С Т

Вступ.....	5
1 Загальні вказівки	6
1.1 Електрообладнання лабораторії електричних машин.....	6
1.2 Принципова схема стендів 1, 2, 3 для випробувань трансформаторів та асинхронних двигунів.....	7
1.3 Правила внутрішнього розпорядку в лабораторії електричних машин.....	8
1.4 Техніка безпеки в лабораторії електричних машин.....	9
1.5 Технічні засоби.....	10
1.6 Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи.	11
1.7 Техніка безпеки при набиранні або складанні схеми.....	12
1.8 Вмикання схеми під напругу.....	13
1.9 Техніка безпеки при виконанні роботи.....	13
1.10 Методичні вказівки.....	13
1.11 Захист лабораторної роботи.....	17
2 Лабораторна робота №1-Т.	18
2.1 Порядок виконання роботи.....	18
2.2 Вказівки по обсягу звіту.....	24
2.3 Питання для самопідготовки.....	24
3 Лабораторна робота № 2-Т.	25
3.1 Порядок виконання роботи.....	25
3.2 Вказівки по обсягу звіту.....	34
3.3 Питання для самопідготовки.....	34
4 Лабораторна робота № 1-А.....	35
4.1 Порядок виконання роботи.....	35
4.2 Вказівки по обсягу звіту.....	36
4.3 Питання для самопідготовки.....	37
5 Лабораторна робота № 2-А.	38
5.1 Порядок виконання роботи.....	38
5.2 Вказівки по обсягу звіту.....	42
5.3 Питання для самопідготовки.....	42
6 Лабораторна робота № 1-С.	43
6.1 Порядок виконання роботи.....	43
6.2 Вказівки по обсягу звіту.....	45

6.3	Питання для самопідготовки.....	45
7	Лабораторна робота № 2-С.	46
7.1	Основні теоретичні положення.....	46
7.2	Порядок виконання роботи.....	49
7.3	Вказівки по обсягу звіту.....	50
7.4	Питання для самопідготовки.....	51
8	Лабораторна робота № 1-П.	52
8.1	Порядок виконання роботи.....	52
8.2	Вказівки по обсягу звіту.....	54
8.3	Питання для самопідготовки.....	54
9	Лабораторна робота № 2-П.	55
9.1	Порядок виконання роботи.....	55
9.2	Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму незалежного збудження.....	55
9.3	Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму паралельного збудження.....	60
9.4	Вказівки по обсягу звіту.....	65
9.5	Питання для самопідготовки.....	65
	Література.....	67
	Додаток А Зразок оформлення титульного аркуша до звіту з лабораторної роботи.....	82

ВСТУП

Дисципліна “Електричні машини” у відповідності з навчальним планом вивчається студентами усіх спеціальностей і усіх форм навчання.

У дисципліні “Електричні машини” розглядаються питання призначення, конструкції та дії електричних машин і трансформаторів.

При роботі над матеріалом дисципліни необхідно користуватись конспектом лекцій, підручниками та методичними вказівками. Під час опрацювання та підготовки до лабораторних робіт обов’язково треба звернути увагу на питання для самоперевірки. Якщо відповіді на ці питання становлять труднощі, необхідно відповідну тему опрацювати по іншим підручникам або звернутися за консультацією до викладача. Відповіді на питання повинні бути математично обґрунтовані.

Під час установчої сесії студенти заочної форми навчання слухають лекції, виконують лабораторні роботи та вирішують задачі. Контрольну роботу виконують на протязі семестру. До екзаменаційної сесії студенти захищають лабораторні й контрольну роботи та отримують залік. Під час екзаменаційної сесії студенти здають іспит за розкладом.

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Лабораторні роботи проводяться згідно програми курсу електричних машин. Вони закріплюють знання студентів, допомагають придбати навички управління і випробувань електричних машин і трансформаторів.

При виконанні лабораторних робіт з електричних машин і трансформаторів студенти повинні:

- виконувати правила внутрішнього розпорядку в лабораторії;
- додержуватись техніки безпеки в лабораторії електричних машин.

1.1 Електрообладнання лабораторії електричних машин

В лабораторії електричних машин змонтовано 13 робочих місць для проведення випробувань трансформаторів та електричних машин.

На робочих місцях 1 - 3 встановленні трифазні двохобмоточні трансформатори з повітряним охолодженням потужністю до 10 кВА, напругою 380/220 В: асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором потужністю до 4 кВт, напругою 380/220 В, які випробуються в трифазному режимі з навантаженням електромагнітним гальмом. Для проведення випробувань вищевказаних машин на робочих столах змонтовані стенди.

На стендах змонтовані автомати, вимикачі, тумблери і вимірювальні прилади за допомогою яких складається схема для випробування трансформатора або асинхронного двигуна. До стендів підведено два джерела живлення змінного струму регульованого та нерегульованого напругою 0...380 В.

На робочих місцях 7, 9, 11 розташовані машини постійного струму потужністю до 5 кВт, напругою 220 В.

На стендах робочих столів схема двигуна зібрана, схема генератора складається при його випробуванні.

На робочому місці 8 встановлена синхронна машина потужністю 4 кВА, напругою 220 В з приводним асинхронним двигуном. Схема складається при проведенні випробувань. На цьому ж робочому столі проводяться випробування трьох однофазних трансформаторів (зняття формою кривих струму, ЕРС) потужністю до 0.5 кВА, напругою 380/36 В.

На робочому місці 10 змонтований однофазний синхронний генератор потужністю 3 кВА, напругою 230 В з приводним двигуном

постійного струму 4 кВт, напругою 220 В.

На робочому місці 12 встановлений трифазний генератор потужністю 10 кВА, напругою 400 В, і приводним двигуном постійного струму потужністю 7.2 кВт, напругою 220 В. Схема стенду на робочому столі змонтована.

На робочому місці 13 змонтований трифазний синхронний генератор, потужністю 5 кВА, напругою 230 В з приводним двигуном

Від підстанції до розподільного щита лабораторії підведено мережу трифазного змінного струму. Від розподільного щита до відповідних стендів і до регульованого джерела змінного струму підведена трифазна нерегульована напруга 380 В.

Для проведення випробувань в лабораторії встановлені автотрансформатор з регульованою напругою змінного струму 0 - 380 В з електроприводом і напівпровідниковим регульованим джерелом постійного струму напругою 220 В.

1.2 Принципова схема стендів 1, 2, 3 для випробувань трансформаторів та асинхронних двигунів

На стендах 1-3 змонтовані схеми для випробування трансформаторів, асинхронних двигунів з фазним ротором і асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором у трифазному і однофазному рсжимах. В схемі силове коло накреслене потовщеними лініями, коло напруги і вимірювальні ланцюги -тонкими.

До стенду підведено два джерела живлення - джерело змінного струму напругою 380 В, яке вмикається автоматом АП1, і джерело змінного струму з регульованою напругою 0-380 В, яке вмикається автоматом АП2.

У лінійні проводи кожної фази на різні струми включені амперметри. В лінійні проводи фаз А і С включені ватметри, які можуть працювати без трансформаторів струму, а при струмі силою більше 5 А - через трансформатор струму.

Державні стандарти встановлюють вимоги безпеки до конструкцій силових трансформаторів і електричних машин [4].

Випробуваний трансформатор підключається до мережі через автомат /1/7-5. Навантаження трансформатора вмикається автоматом АПЮ, а при штучному короткому замиканні вторинна обмотка коротко замикається автоматом АП8.

Обмотка статору асинхронного двигуна з фазним ротором підк-

лючається до мережі автоматом АП6, обмотка статора асинхроніого двигуна з короткозамкнрким ротором – автоматом АП7.

В залежності від типу випробувань трансформторів і асинхронних двигунів схема складається вмиканням аніоматів, тумблерів, ви-микачів і відповідних вимірювальних приладів.

1.3 Правила внутрішнього розпорядку в лабораторії електричних машин

1.3.1 Студенти допускаються в лабораторію в години встановлені розкладом занять та консультацій.

1.3.2 Перёд проведенням лабораторних робіт необхідно вивчити і знати схеми електроживлення лабораторії, місця розташування автоматів і рубильників в цих схемах, їх положення у вимкненному та ввімкнутому стані.

1.3.3 Вивчити схему стенду (робочого столу) для випробувань трансформаторів і електричних машин.

1.3.4 Знати різновиди захисних засобів, місця, де вони знаходяться, та вміти їми користуватися.

1.3.5 Під час знаходження в лабораторії категорично забороняється самовільно:

- торкатись до обладнання лабораторії;
- вмикати і перевмикати автомати і рубильники на головному розподільному щиті лабораторії, на щиті регулювання напруги і на стендах (робочих столах) лабораторії.

1.3.6 До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які здали звіт по раніше виконаній роботі, проробили теоретичний матеріал для наступної роботи і підготували формуляр до неї. Формуляр (заготівка) повинен мати: мету роботи, порядок її виконання, принципові схеми проведення випробувань, таблиці для запису даних випробувань та розрахункових даних, розрахункові формули.

1.3.7 Під час проведення лабораторних робіт студенти повинні знаходитись на вказаних їм робочих місцях. Ходити по лабораторії не дозволяється..

1.3.8 Залишення лабораторії допускається тільки з дозволу викладача по закінченню лабораторної роботи після виконання попередніх розрахунків і приведення в порядок робочого місця.

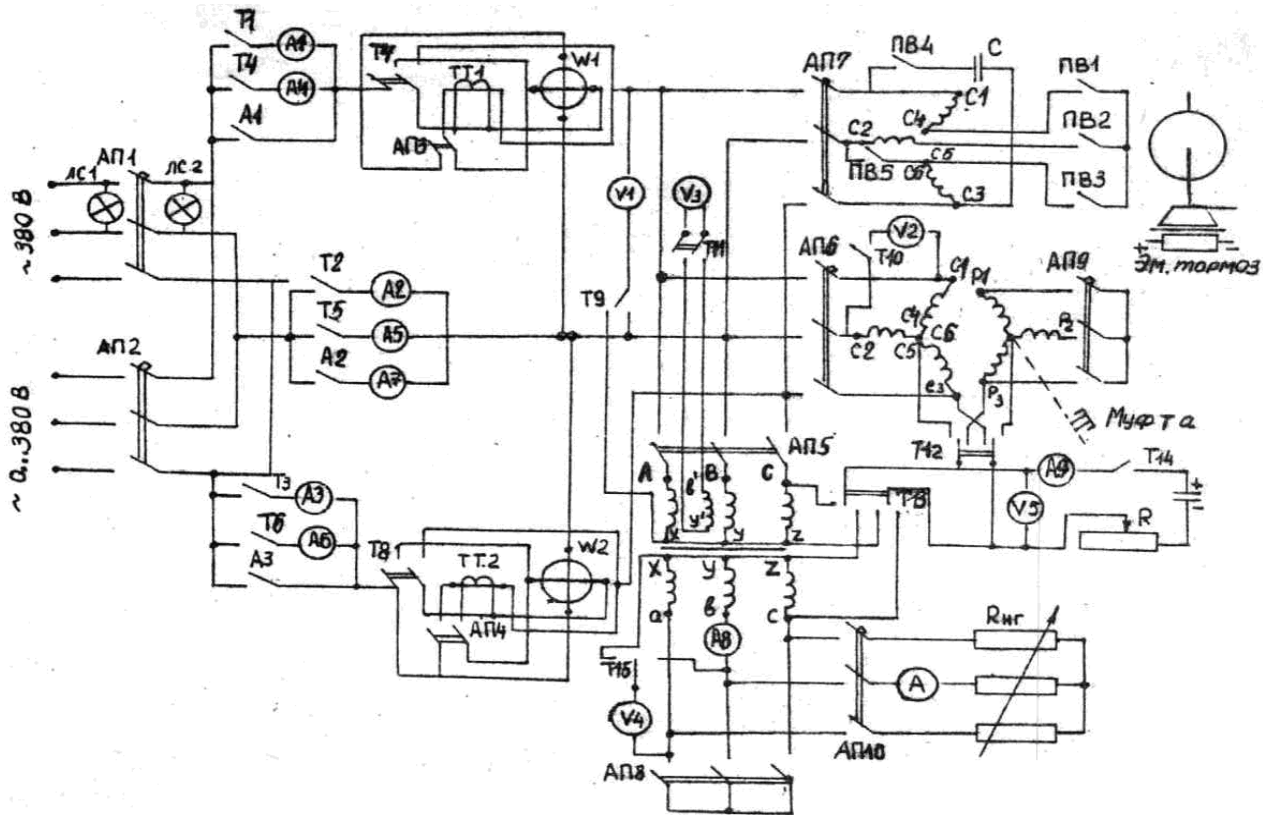


Рисунок 1.1 – Принципова схема стенду робочих місць.

1.3.9 Пропущені лабораторні роботи виконуються у додатковий час, передбачений внутрішнім розпорядком роботи, з дозволу викладача.

1.3.10 Студен, порушивший правила внутрішнього розпорядку лабораторії, усувається від роботи і допускається до занять тільки з дозволу завідуючого кафедрою.

1.4 Техніка безпеки в лабораторії електричних машин

В лабораторії електричних машин робочою напругою є напруга змінного струму 380/220 (на деяких розподільних щитках і стендах вона досягає 500 В) і напруга постійного струму 220 - 400 В (то являє особливу небезпеку при роботі в лабораторії).

Лабораторія електричних машин належить до сухих приміщень, тобто до приміщень, в яких відносна вологість повітря не перевищує 60%.

З безпеки враження електричним струмом лабораторія електричних машин належить до приміщень з підвищеною небезпекою, де є можливість одночасного торкання людини до частин, які мають з'єднання з землею, металоконструкціями, технологічними апаратами, механізмами з одного боку, та до металевих корпусів електрообладнання - з другого.

Тому дотримання правил з техніки безпеки й охорони праці - необхідна передумова попередження електротравматизму та травматизму.

Згідно з [1] при змінному струмі 50 Гц напруга торкання складає не більше 2 В, гранично дозволений струм - не більше 0.3 мА, при постійному струмі напруга торкання - не більше 3 В, струм - 0.4 мА.

Напруга торкання - це напруга між двома пунктами кола струму, яких одночасно торкається людина. В аварійних режимах електричних установок напругою до 1000 В з глухозаземленою або ізолюваною нейтраллю при більш ніж 1 с дії змінного струму 50 Гц і напрузі торкання 36 В гранично дозволений струм - не більше 6 мА, при постійному струмі і напрузі торкання 40 В гранично дозволений струм - не більше 15 мА.

1.5 Технічні засоби

1.5.1 Вимоги до трифазних трансформаторів з повітряним охоло-

дженням (сухі) потужністю до 10 кВА. Такі трансформатори повинні виконуватись 1 класу захисту людини від враження електричним струмом, мати робочу ізоляцію, елемент для заземлення і ступінь захисту не нижче IP20 згідно ГОСТ 14254 - 89 (ступінь захисту від можливості торкання до струмоведучих частин).

Захист трансформаторів від перевантажень і коротких замикань (струмовий захист) здійснюється автоматами АП.

1.5.2 Електричні машини (асинхронні, синхронні та машини постійного струму) повинні мати ступінь захисту IP22 - машина захищається від попадання твердих сумішей та крапель води (захищена машина).

Виводи статорної та роторної (якірної) обмоток захищаються огорожею (кришками). Обертаючі частини машин (шків, муфти, вентилятори, вільні частини валів) - закриваються огороженням, зняття яких під час роботи машини забороняється.

Електричні машини також повинні мати захист від перевантаження короткого замикання. Кожну електричну Машину заземлюють (корпус машини). Опір ізоляції електричних машин і трансформаторів, виміряний мегометром напругою 1000 В, повинен бути менше 1 МОм.

Вмикання стендів під напругу сигналізується лампами червоного кольору з надписом «ВВІМКНУТО», відключення - лампами зеленого кольору з надписом «ВІДКЛ».

Незбуджений генератор, який обертається, розглядається як генератор під напругою.

При роботі з електродвигуном попередньо треба зняти навантаження .

1.5.3 В лабораторії електричних машин повинні бути основні електрозахисні засоби - вказувачі напруги, діелектричні рукавички, слюсарно - монтажний інструмент з ізольованим держаками; і додаткові електрозахисні засоби - діелектричні галоші, килимки, плакати та знаки безпеки.

1.6 Правила техніки безпеки при виконанні лабораторної роботи

Перед початком роботи студент повинен:

- вивчити схему електроживлення лабораторії, знати який апарат необхідно відключити у разі аварійного режиму або нещасного випадку;

- вивчити захисні засоби від враження електричним струмом, які мають у лабораторії, знати їх місця розташування, вміти їми користуватися;

- вміти надавати першу медичну допомогу людині, яка попала під напругу, методом штучного дихання згідно з правилами «Першої допомоги потерпілим від електричного струму та інших нещасних випадків;

- вивчити методичні вказівки.

Після інструктажу і перевірки знань з техніки безпеки студенти розписуються в журналі про знання й виконання «Правил з техніки безпеки» і розроблених методичних вказівок.

Категорично забороняється:

- торкатись обладнання, яке не має відношення до виконуваної студентом лабораторної роботи,

- самочинно вмикати апаратуру на головному розподільному щиті лабораторії і на робочих місцях;

- вмикати і вимикати зібрану схему без дозволу викладача;

- торкатись до струмоведучих зажимів, а також до обертаючих частин електричних машин;

- складати схему з пошкоджених проводників;

- проводити зміни в схемі при ввімкнутому джерелі живлення струму до повної зупинки ротора (якоря) електричної машини;

- проводити іспити при пошкоджених трансформаторах, електричних машинах, апаратах, вимірювальних приладах та з'днувальних проводах з пошкодженою ізоляцією;

- приступати до виконання лабораторної роботи студентами, одяга яких може бути захвачена обертаючими частинами машини.

1.7 Техніка безпеки при набірні або складанні схеми

Електричну схему дозволяється набирати (складати) тільки при вимкненому джерелі живлення. Автомати, вимикачі, встановлені на робочому місці, повинні бути вимкненими.

Робочі місця не дозволяється захламляти сторонніми речами, а проходи - стільцями.

Прилади при набірні схеми використовуються тільки ті, які відповідають параметрам іспитів.

При складанні схеми слід звертати увагу на якість, ізоляції з'днувальних проводів, надійність контактів в місцях з'єднання на-

конечників і зажимів, на місцерозташування повзунів (рукояток) релестатів, автоматів і вимикачів.

Зібрана схема перевіряється усіма студентами бригади і представляється бригадиром викладачу або лаборанту.

1.8 Вмикання схеми під напругу

Вмикання схеми під напругу сигналізується і загоранням відповідної сигнальної лампи. При цьому студенти уважно слідкують за показаннями приладів і в разі відхилення стрілок приладів вправо до упору схему миттєво вимикають.

1.9 Техніка безпеки при виконанні роботи

При роботі обертаючих машин необхідно слідкувати за тим, щоб одежа, проводи та інші речі не торкались до обертаючих частин машини. Забороняється знаходитись напроти обертаючих муфт і торкатись до них.

Необхідно слідкувати за тим, щоб величини, які характеризують параметри досліджуваної машини, такі як папруга, струм, частота обертання та інші, не перевищували допустимих меж вимірювання приладів (в разі перевищення допустимих меж машину вимикають).

При роботі з трансформаторами струму забороняється розмика-ти вторинну обмотку при ввімкнутій первинній (наприклад, при зміні меж вимірювання струму ватметру).

При виявленні пошкодження обладнання робочого місця джерело живлення негайно вимикають і повідомляють, про це викладача або лаборанта.

Зміни в робочій схемі дозволяється проводити з дозволу викладача після відключення схеми від мережі і повної зупинки обертаючих частин машини. Повторно схему вмикають, і дозволу викладача.

В разі припинення іспитів або при перерві в роботі схеми обов'язково відключають від джерела живлення.

1.10 Методичні вказівки

Організація роботи в лабораторії.

Специфіка проведення іспитів електричних машин і трансформаторів в лабораторії (одночасний відлік декількох величин, регулювання параметрів схеми) така, що потребує розподіл групи студентів на дві підгрупи, а підгрупи на три бригади. З кожною підгрупою пра-

цює викладач, який призначає бригадира в кожній бригаді.

Студенти повинні за тиждень до виконання лабораторної роботи отримати завдання у викладача, ведучого лабораторні заняття. Отримавши завдання, вони повинні поза сіткою розкладу підготуватись до виконання наступної лабораторної роботи, вивчити теоретичний матеріал з питань вказаної роботи, порядок проведення іспитів, підготувати формуляр звіту (схеми, розрахункові формули, таблиці для запису даних іспитів і розрахункових даних).

Підготовка до роботи в лабораторії

Перед початком виконання лабораторної роботи студент пред'являє викладачу заготовлений формуляр звіту і відповідає на питання про наступну роботу. При задовільних відповідях, наявності формуляра і заліка по прийдешній роботі студент допускається до виконання лабораторної роботи.

Студент не виконавши вказані вимоги, до виконання роботи не допускається, а виконує її у додатковий час в установленому порядку.

Допущені до роботи студенти приступають до її виконання;

вивчають і записують в формуляр конструктивні особливості і паспортні данні машини або трансформатора, потім згідно з умовами випробувань визначають параметри досліджуваної машини або трансформатора, і записують їх данні в формуляр звіту.

Порядок складання схеми

Перед початком складання схеми необхідно впевнитись у тому, що всі автомати, та тумблери встановлені у вимкненому положенні.

Схему рекомендується набирати в такій послідовності:

Спочатку набирають схему силового кола, починаючи від випробуваного трансформатора або електричної машини до джерела живлення, вмиканням відповідних автоматів, вимикачів та рубильників.

Потім набирають паралельні ланцюги машини і відповідні вимірювальні прилади. При наборі в схемі амперметрів з невеликими межами вимірювання струму на час їх вмикання вони повинні шунтуватись автоматом (тумблером) або амперметром з великими границями вимірювання струму.

Зібрана і перевірена схема пред'являється бригадиром для її перевірки викладачу або лаборанту.

Схему силового кола машини або трансформатора складають проводами відповідного діаметру і кольору, починаючи з кола живлення електричної машини (трансформатора). Потім складають паралельні ланцюги і вмикають відповідні вимірювальні прилади.

В наборі (складанні) і перевірці схеми повинен приймати участь усі учасники бригади. Вимірювальні прилади для відліку їх показань розподіляють між студентами, що значно прискорює проведення випробувань і підвищує якість вимірювань. При необхідності проводиться корекція положень стрілок вимірювальних приладів і показників на регулюючих пускових реостатах.

Вмикання схеми під напругу і проведення випробувань

Вмикання схеми під напругу проводиться тільки з дозволу викладача або лаборанта. В момент вмикання схеми бригадир голосно оголошує: «Увага! Вмикаю». Кожен студент слідкує за закріпленими за ним приладами і в разі відхилення стрілки за межі шкали, каже: «**Вимкнути лінійний автомат**», бо тільки по приладам можна виявити пошкодження в електричній схемі.

Після вмикання схеми під напругу проводиться випробувальне зняття характеристик без запису показань приладів.

При задовільних результатах по випробувальному визначенню характеристик проводиться випробування з відповідними 5-6 відліками з записуванням в формуляр звіту. Відліки краще за все проводити в поділах шкали приладу, завчасно визначивши постійну приладу.

Після виконання вимірювань по визначеному пункту випробувань студенти виконують розрахунки параметрів для номінального або близького до номінального режиму, оцінюють вірність проведенного випробування не розбираючи схеми. Результати розрахунків пред'являють викладачу і з його дозволу виконують наступний пункт випробувань.

Відключення схеми від джерел живлення і її розбірка

Після виконання лабораторної роботи бригадир студентів повідомляє про це викладача і отримує у нього дозвіл на відключення схеми від джерела живлення.

Після відключення схеми з конденсатором (випробування трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у однофазному режимі) конденсатор розряджується. При цьому забороня-

ється торкатися до зажимів схеми до повної розрядки конденсатора.

Схема розбирається після прорахунків контрольних даних експерименту і узгодження даних розрахунків з викладачем.

На стендах усі автомати (вимикачі) ставлять в початкове (вимкнене) положення, від'єднують проводи і складають їх у відведене місце, робоче місце приводять у належний стан.

Про всі порушення техніки безпеки викладач доповідає завідувачому кафедрі в письмовій формі для прийняття відповідних заходів до порушників.

Правила вимірювання та користування приладами

Для вимірювання електричних та інших величин згідно паспортних даних машини (трансформатора), типу і схеми випробувань студенти самостійно визначають необхідні типи приладів і межі їх вимірювань. Найчастіше використовуються прилади, розташовані на робочих місцях. Невистачаючі прилади бригадир бере у викладача або лаборанта і здає їх по закінченню роботи. Користуватись приладами з інших робочих місць без дозволу викладача або лаборанта забороняється.

При вмиканні схеми під напругу і виконанні роботи студенти зобов'язані слідкувати за тим, щоб прилади не перевантажувались по струму й напрузі, бо це веде до виходу їх з ладу. Відлік по приладам ведеться по шкалі приладу, завчасно визначивши її постійну.

У разі виходу з ладу приладу бригадир повинен невідкладно повідомити про це викладача або лаборанта. На основі цього складеться акт, визначається винник і міра матеріальної відповідальності.

При вимірюванні мегометром опору ізоляції струмоведучих частин з'єднувальні проводи слід підводити до них за допомогою ізолюючих утримувачів. По закінченню вимірювання опору необхідно зняти з струмоведучих частин остаточний заряд шляхом їх короткочасного заземлення. Відсутність напруги до 1000 В перевіряється вказівником напруги. Використання контрольної лампи не допускається.

Складання та оформлення звіту

Звіт пишеться чорнилами на аркуші паперу (краще в клітку) формата А11. Зкоректовані схеми випробувань приводяться згідно стандарту. Схему та характеристику викреслюють олівцем з використанням чорнильних приладів. Форма титульного листа приведена у дода-

тку до методичних вказівок. Оформлення звіту повинно відповідати вимогам ЕСКД.

По даним вимірювань і формулам виконуються розрахунки, які записують у відповідну таблицю.

Під таблицею приводять формули, згідно яких розраховують данні, і приклад розрахунку по цім формулам для номінального режиму. По розрахунковим даним викреслюються характеристики.

Розміри графіків повинні бути не менше 8x8 см. На вісях координат вказуються відповідні масштаби величини і наносять сітку. Для того щоб простежити на графіках процес зміни характеристики, необхідно викреслювати графіки, починаючи відлік від нуля на координатній сітці. Допускається викреслювання характеристик, коли на початку координат проставляються деякі значення, прийняті за початкові, або ж проводиться розрив координати.

На координатній сітці проставляють крапки (координати) згідно розрахункових даних з таблиць і іспитів. По ним проводиться плавна лінія охоплююча найбільшу кількість крапок або займаюча середнє положення між ними.

По характеристикам дають висновки про відповідність випробуваної машини або трансформатора вимогам Держстандартів або паспортним даним, а при їх невідповідності вказують причину.

Звіт повинен мати: титульний аркуш, найменування і дату виконання роботи, номінальні данні досліджуваної машини, данні вимірювальних приладів, апаратів, схем, - порівняння експериментальних даних з даними заводського щитка або з даними стандартів, аналіз отриманих даних і висновки по дослідженому трансформатору або машині. Складений і оформлений звіт про виконання роботи подається кожним студентом викладачу.

1.11 Захист лабораторної роботи

Перевірка звіту і бесіда проводяться з кожним студентом. Під час бесіди студент повинен відповідати на питання теоретичного і практичного характеру в обсязі виконаної роботи, а також знати схему і метод проведення випробування. При незадовільних відповідях на запитання, неохайному виконанні звіту, невідповідності його вимогам програми та ЕСКД лабораторна робота не зараховується, звіт треба переоформити і лабораторна робота повинна бути захищена поза сіткою розкладу до слідуєчого лабораторного заняття.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1-Т

Тема: Визначення орієнтованих паспортних даних трифазного трансформатора.

Мета роботи - вивчити будову окремих елементів (вузлів) трансформатора і машини в цілому; визначити орієнтовані паспортні данні трансформатора за геометричними розмірами магнітного кола та обмоток трансформатора.

2.1 Порядок виконання роботи

2.1.1 Визначити і записати параметри трансформатора:

- а) кількість фаз трансформатора;
- б) кількість обмоток на стрижні;
- в) спосіб охолодження;
- г) тип трансформатора.

2.1.2 Накреслити ескіз магнітного кола трансформатора.

а) накреслити ескізи перерізу стрижня і ярма, вказати розміри, розрахувати їх площу з точністю до 1см^2 визначити співвідношення перерізу ярма і перерізу стержня Пс/Пя.

б) виміряти товщину листів трансформаторної сталі магнітопроводу, вказати спосіб шихтовки та опресовки магнітної системи.

2.1.3 Накреслити ескізи обмоток, розташованих на одному стрижні. На ескізі вказати основні розміри: висоту, діаметри, радіальні розміри обмоток і каналів. Вказати тип, марку і клас ізоляції проводу обмоток.

2.1.4 Визначити зажими фазних обмоток за допомогою мегометра.

2.1.5 Визначити однополярні зажими фазних обмоток індуктивним методом за допомогою джерела постійного струму та магнітоелектричного приладу .

При полярності, вказаній на схемі 2.1 і при включенні вмикача S стрілка гальванометра повинна відхилитись на право, в цьому випадку зажими А і а - однополярні.

2.1.6 Виміряти мегометром опір ізоляції обмоток стягуючих болтів ярмових балок. Данні вимірювань записати в табл. 2.1, при цьому опір ізоляції болтів заносити в останню графу, вибираючи болти в довільному порядку.

Таблиця 2.1 - Опір ізоляції обмоток і елементів конструкції і магнітної системи

Обмотка ВНЗ осереджена (земля)	Обмотка ННЗ осереджена (земля)	Між обмотками	Між фазними обмотками ВН	Між фазними обмотками НН	Стягувальний болт зосереджений (земля)
A - з	a - з	A - a	A - B	a - в	
B - з	d - з	B - в	B - C	b - c	
C - з	c - з	C - c	C - A	c - a	

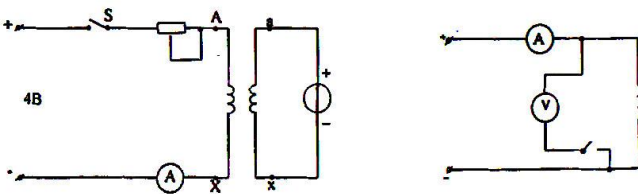


Рисунок 2.1 - Схема для знаходження Рисунок 2.2 - Схема вимірювання омично-однополярних зажимів обмоток транс-го опору фазних обмоток форматора

2.1.7 Виміряти омичний опір фазних обмоток трансформатору постійним струмом методом падіння напруги згідно схеми 2.2. Ввімкнути тумблер Т13 (в положенні 1 вимірюється опір обмотки ВН , в положенні 2 - опір обмотки НН) та Т14.

Якщо розрахункове значення вимірюваного опору складе 0-5% і більше опору вольтметра, значення визначаємого опору:

$$R' = R \cdot \frac{1}{1 - \frac{R}{R_v}}$$

де R - опір, розрахований згідно вимірянним значенням струму та напруги. Ом,

R_v , - опір вольтметра, Ом.

При вимірюваннях вольтметр вмикають при встановившихся показниках амперметру.

При вимірюванні опору враховувати температуру обмоток, при

якій проводиться вимірювання. Для сухих трансформаторів, які знаходяться в приміщенні з незмінною температурою повітря, за температуру обмотки взяти температуру зовнішнього повітря, виміреного при температурі зовнішнього середовища, до номінальної температури + 75°C.

Омічний опір повинен бути $r_{0,AX} \approx r_{0,ВУ} \approx r_{0,CZ}$ і не повинні відрізнятися по фазам більше, ніж на $\pm 5\% \cdot r_{сер}$.

Опір обмоток трансформатора привести до температури +75°C

$$r_{сер.раб.} = \frac{r_{сер.окр.} (\Theta + 75^\circ)}{\Theta + \Theta_{окр.}}$$

де $r_{сер.раб}$ - середній опір фазної обмотки трифазного трансформатора при номінальній робочій температурі +75°C;

$r_{сер.окр}$ - теж при температурі навколишнього середовища, визначене як середнє арифметичне, наприклад для обмотки ВН ;

Θ - коефіцієнт, залежний від матеріалу обмоток.

$\Theta_{окр.}$ - температура навколишнього середовища, °C.

Для міді $\Theta=234,5^\circ\text{C}$, для алюмінію $\Theta=245^\circ\text{C}$;

Θ Виміряні і розрахункові данні записати в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Виміряні і розрахункові омічні опори фазних обмоток

Параметри	Одиниця	Фазні обмотки напруги						Температура навколишнього середовища
		A-X	B-Y	C-Z	a-x	b-y	c-z	
U	В							
I	А							
$r_{окр.}$	Ом							
$r_{сер.окр.}$	Ом							
$r_{сер.раб.}$	Ом							

В табл. 2.2 $r_{окр}$ - опір відповідної фазної обмотки при температурі навколишнього середовища.

2.1.8. Визначити число витків і ЕРС фазних обмоток. При ви-

значенні числа витків на одному з стержнів на обмотку вищої напруги намотана додаткова обмотка з числом витків $W_{\text{дод.}} = 10$. Зібрати схему (рис. 2.3) і провести вимірювання. Ввімкнути автомати А1, А2, А3, АП3, АП4, АП5.

Тумблери Т9, Т11 та Т15 ввімкнути в положення 1 (фазне). Після перевірки схеми викладачем ввімкнути автомат АП1. Виміряні та розраховані данні записати в таблицю 2.3.

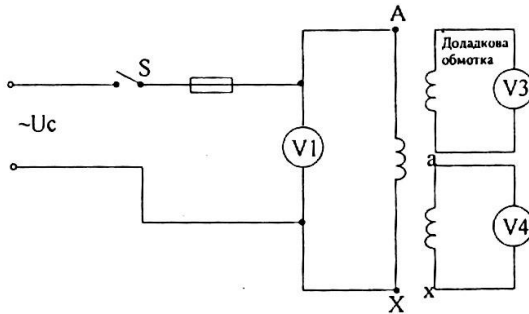


Рисунок 2.3- Схема для визначення числа витків обмоток трансформатора

Таблиця 2.3 - Данні вимірювань та озраховкові данні для визначення числа витків обмоток

Данні вимірювань				Розраховкові данні						
$U_{1\phi}$ В	$U_{2\phi}$ В	$U_{\text{дод.}}$ В	$W_{\text{дод.}}$ витків	W_1 витків	W_2 витків	e_1 В	e_2 В	$E_{1\phi}$ В	$E_{2\phi}$ В	k

В табл. 2.3 прийняті слідуючі позначення:

$U_{1\phi}$, $U_{2\phi}$, $U_{\text{дод.}}$ - відповідно напруги фаз первинної, вторинної та додаткової обмоток;

$$W_1 - \text{число витків первинної обмотки, } W_1 = W_{\text{дод.}} \cdot \frac{U_{1\phi}}{U_{\text{дод.}}};$$

$$W_2 - \text{число витків вторинної обмотки, } W_2 = W_{\text{дод.}} \cdot \frac{U_{2\phi}}{U_{\text{дод.}}}.$$

e_1, e_2 - відповідно ЕРС одного витка первинної і вторинної обмоток трансформатора

$$e_1 = e_2 = 4,44 \cdot f \cdot \text{Пс} \cdot \text{Вс} , \text{ В}$$

де f - частота в мережі, Гц', ($f = 50$);

Пс - площа перерізу стрижня, м².

Вс - рекомендована індукція в стрижні для трансформаторів потужністю 5..10 кВ·А, Тл;

Вс = (0,9..1,4). Прийняти $\text{Вс} = 1,4 \text{Тл}$.

$E_{1\phi}, E_{2\phi}$ = ЕРС фаз відповідно первинної та вторинної обмоток, В.

$$E_{1\phi} = e_1 \cdot W_1 ; E_{2\phi} = e_2 \cdot W_2 .$$

Значення $E_1 \approx U_1$; $E_2 \approx U_2$, прийняти рівними ближчим стандартним величинам (220 В та 127 В).

К - коефіцієнт трансформації по фазній напрузі

$$K = \frac{E_{1\phi}}{E_{2\phi}} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} .$$

Прийняті стандартні величини номінальних напруг $U_{1\text{нф}}$ і $U_{2\text{нф}}$ записати в табл. 2.4,

2.1.9 Визначити номінальний струм і потужність фаз первинної і вторинної обмоток. При визначенні номінальних фазних струмів щільність струму для трансформаторів з мідними обмотками та повітряним охолодженням може бути прийнята

$$\Delta = (1.5 \div 2.5) \text{ А /мм}^2. \text{ Прийняти } \Delta = 2,5 \text{А/ мм}^2.$$

Розрахункові данні записати в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Розрахункові данні для визначення потужності

q ₁	q ₂	I _{1нф}	I _{2нф}	U _{1нф}	U _{2нф}	S _{1нф}	S _{2нф}	S _{н(3 фаз)}
мм ²	мм ²	А	А	В	В	В.А	В.А	В.А

В табл. 2.4 прийняті слідуючі позначення:

q₁, q₂ - переріз проводів відповідно первинної і вторинної обмоток, мм²

I_{1нф} - номінальний фазний струм первинної обмотки

$$I_{1\text{нф}} = \Delta \cdot q_1, \text{ А.}$$

I_{2нф} - номінальний фазний струм вторинної обмотки

$$I_{2\text{нф}} = \Delta \cdot q_2, \text{ А.}$$

$U_{1\text{нф}}, U_{2\text{нф}}$ - номінальні фазні напруги відповідно первинної і вторинної обмоток, В.

$S_{1\text{нф}}, S_{2\text{нф}}$ - номінальні потужності відповідно первинної і вторинної обмоток

$$S_{1\text{нф}} = I_{1\text{нф}} \cdot U_{1\text{нф}}, \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{2\text{нф}} = I_{2\text{нф}} \cdot U_{2\text{нф}}, \text{ В} \cdot \text{А.}$$

$S_{\text{н(3фаз)}} -$ номінальна потужність трансформатора

$$S_{\text{н(3фаз)}} = 3 \cdot S_{1\text{нф}} = 3 \cdot S_{2\text{нф}}, \text{ В} \cdot \text{А.}$$

Номінальна потужність трансформатора визначається при його випробуванні на нагрівання по допустимій температурі ізоляції.

2.1.10 Орієнтовані паспортні данні трансформатора для схеми з'єднання обмоток У/У і У/Д записати в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Орієнтовані паспортні данні

Номіналь-ніданні	Одиниця	При з'єднанні обмоток по схемі	
		З'єднання У/У	З'єднання У/Д
$U_{1\text{нф}}$	В		
$U_{1\text{нл}}$	В		
$U_{2\text{нф}}$	В		
$U_{2\text{нл}}$	В		
$I_{1\text{нф}}$	А		
$I_{1\text{нл}}$	А		
$I_{2\text{нф}}$	А		
$I_{2\text{нл}}$	А		
$S_{\text{н}}$	кВ· А		

За номінальну потужність трансформатора приймати меншу потужність обмоток. При цьому відповідно повинні бути змінений номінальний струм в табл. 2.5.

2.1.11 Визначити номінальний допустимий опір ізоляції обмоток

$$r_{из.м} = \frac{U_{1НЛ}}{S_H / 100 + 1000}, \text{ МОм}$$

де $U_{1НЛ}$ - лінійна напруга обмотки вищої напруги, В;

S_H - номінальна потужність трансформатора, кВ· А.

Порівняти вимірний опір ізоляції (див. табл. 2.1) з номінально допустимим і дати висновок про стан ізоляції випробуваного трансформатора.

2.2 Вказівки по обсягу звіту

Звіт повинен мати:

- короткий опис виконаної роботи;
- ескіз магнітного кола і обмоток;
- схеми, формули, таблиці з даними вимірювань і розрахунковими даними;
- орієнтовані паспортні данні трансформатора;
- висновки.

2.3 Питання для самопідготовки

1. Конструкція і призначення вузлів трансформатора.
2. Сформулювати принцип роботи трансформатора
3. Як по зовнішнім признакам відрізнити в трансформаторі обмотку вищої напруги від обмотки нижчої напруги?
4. Визначити співвідношення між ЕРС одікцо витка первинної і вторинної обмоток;
5. Від яких параметрів трансформатора залежить ЕРС первинної і вторинної обмоток?
6. Що таке коефіцієнт трансформації однофазного і трифазного трансформаторів?
7. Як визначити коефіцієнт трансформації?
8. Вказати різницю між номінальною і дійсною потужностями трансформатора.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 - Т

Тема: Випробування трифазного трансформатора в дослідах холостого ходу та короткого замикання.

Мета роботи - вивчити фізичні процеси в трансформаторі при холостому ході та короткому замиканні, згідно дослідів холостого ходу та короткого замикання дати оцінку втрат та ККД трансформатора.

3.1 Порядок виконання роботи

3.1.1 Випробувати трансформатор в досліді холостого ходу. Згідно паспортних даних з заводського щитка або з лабораторної роботи № I-Т підібрати вимірювальні прилади і скласти схему (рис. 3.1) для зняття характеристик холостого ходу:

$I_X, P_X, \cos\varphi_X = f(U_1)$ при $f=50\text{Гц}, I_2 = 0$.

Ввімкнути автомат АП5 та тумблери Т4, Т5, Т6, Т7, Т8. Тумблери Т9 та Т15 ввімкнути в положення 2 (лінійне). На ватметрах встановити межу виімірювання по напрузі – 300В, по струму – 2,5А. Після перевірки схеми викладачем ввімкнути автомат АП2.

Зовнішнє коло вторинної обмотки трансформатора розімкнене. Напругу, підведену до первинної обмотки, змінювати в межах $(0.4 \div 1.2)U_{1Н}$. через $0,2U_{1Н}$. Провести 5 - 7 вимірювань. Виміряні і розрахункові данні записати в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Виміряні та розрахункові данні характеристик холостого ходу

Данні вимірювань							Розрахункові данні										
U_1	U_2	I_{1A}	I_{1B}	I_{1C}	α_1	α_2	U_X^*	I_X	I_X^*	S_X	P_X	P_X^*	x_X	r_X	$\cos\varphi_X$	Z_X	k
В	В	А	А	А	діл	діл	в.о	А	в.о	ВА	Вт	во	Ом	Ом	-	Ом	-

Розрахункові данні в табл. 3.1 визначити по формулам:

$$U_X^* = U_1/U_{1Н},$$

де $U_{1Н} = 380 \text{ В}$,

$$I_X = \frac{I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}}{3}, \text{ A};$$

де I_X - середній струм холостого ходу у відносних одиницях

$$I_X^* = \frac{I_X}{I_{H\Phi}};$$

$I_{H\Phi}$ - визначити з даних роботи №1-Т.

Потужність холостого ходу

$$S_X = mU_{1\Phi}I_{CP}$$

P_X - втрати при холостому ході

$$P_X = C_W \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \text{ Вт},$$

де C_W - постійна ватметрів;

α_1, α_2 - показання ватметрів, ділень;

P_X^* - витрати при холостому ході у відносних одиницях

$$P_X^* = \frac{P_X}{S},$$

де S - потужність трансформатора, визначена у попередній роботі №1-Т, Вт

$\cos \varphi_X$, - коефіцієнт потужності при холостому ході

$$\cos \varphi_X = \frac{P_X}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_X};$$

r_x - активний опір фази намагнічуючого контура

$$r_x = P_X / (3I_X^2), \text{ Ом};$$

x_x - індуктивний опір фази намагнічуючого контуру

$$x_x = \sqrt{z_x^2 - r_x^2}, \text{ Ом};$$

z_x - повний опір холостого ходу

$$z_x = \frac{U_{X\Phi}}{I_X}, \text{ Ом};$$

$$\text{де } U_{X\Phi} = \frac{U_1}{\sqrt{3}}$$

$$k = \frac{U_1}{U_2} - \text{коефіцієнт трансформації.}$$

Фазні опори r_{1,x_1}, z_{11} первинної обмотки складають 1-2% фазних

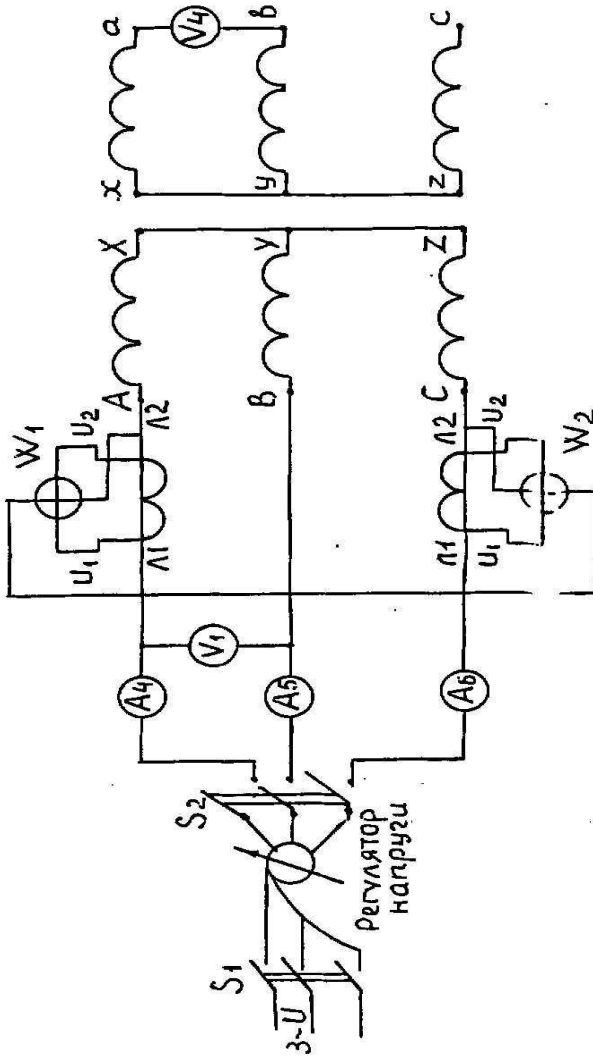


Рисунок 3.1 - Схема випробування трансформатора в режимі холостого ходу

опорів намагнічуючого контуру r_{12} , x_{12} , z_{12} тому можна прийняти $r_x = r_{12}$, $x_x = x_{12}$, $z_x = z_{12}$.

Використовуючи характеристику $I_x^* = f(U_1^*)$ визначити коефіцієнт насичення сталі трансформатора.

Для номінальної напруги $U_1^* = 1.0$ визначити $I_{xH}\%$, $P_{xH}\%$, $\cos f_{xH}$ і порівняти їх з даними, рекомендованими держстандартами для $S_H = 5 \div 75$ кВ·А; $I_{xH}\% = 10 \div 7.5\%$; $P_{xH}\% = 1.2 \div 1.0\%$; $\cos f_{xH} = 0.1 \div 0.2\%$

Накреслити схему заміщення трансформатора при холостому ході, вказати її параметри.

3.1.2 Випробувати трансформатор в досліді короткого замикання. Згідно паспортним даним трансформатора з заводського щитка або лабораторної роботи №1-Т підібрати вимірювальні прилади і скласти схему (рис. 3.2)

для зняття характеристик короткого замикання:

$$I_1 = (U_k), P_k = f(U_k), \cos \phi_k = f(U_k).$$

Ввімкнути автомати АП5, АП8, А1, А2, А3, АП3, АП4. Напруга короткого замикання встановлюється по вольтметру V3. Тумблер Т11 ввімкнути в положення 2. На ватметрах встановити межу вимірювання на напрузі – 150В, по струму – 5А. Після перевірки схеми викладачем ввімкнути автомат АП2.

Вторинна обмотка закорочена, $U_2 = 0$. Під час досліді слід намагатись того, щоб зміна активного опору обмоток, обумовлена їх нагріванням, була мінімальна. Тому не слід допускати збільшення струму короткого замикання більше ніж $I_k = 1.5 \cdot I_H$ і трансформатор залишати під напругою лише мінімально необхідний для досліді час.

При проведенні досліді виміряти температуру обмоток, яка в охоложеному стані дорівнює температурі навколишнього середовища. При знятті характеристик КЗ до первинної обмотки трансформатора підводити знижену напругу від регулювача напруги таку щоб отримати наступні значення струму короткого замикання:

$$I_{1k} = (0.25; 0.5, 0.75, 1.0, 1.25) \cdot I_H$$

Провести 5 - 7 вимірювань. Виміряні і розрахункові данні записати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Виміряні та розрахункові данні характеристик короткого замикання

Данні вимірювань					Розрахункові данні									
I ₁	I ₂	U _k	α ₁	α ₂	I ₁ *	U _{кф}	U _{кф} *	P _k	P _k *	S _k	cosφ _k	r _k	x _k	z _k
А	А	В	діл	діл	в.о.	В	в.о	Вт	во.	ВА	-	Ом	Ом	Ом

Для трифазного трансформатора при з'єднанні первинної обмотки в зірку розрахункові данні в табл. 3.2 визначити по формулам:

$$I_1^* = \frac{I_1}{I_H}; I_H - \text{взяти з роботи 1Т}$$

$$U_{кф} = \frac{U_K}{\sqrt{3}}$$

$$U_{кф}^* = \frac{U_{кф}}{U_{фН}}; U_{фН} = 220В$$

Потужність короткого замикання

$$S_k = mU_{кф}I_1, \text{ ВА}$$

P_k - втрати при короткому замиканні P_k = (α₁±α₂)·C_w·C_{тТ}, Вт,

де α - число ділень по шкалі ватметру;

C_w, - постійна ватметру, Вт/діл;

C_{тТ}, - коефіцієнт трансформації (C_{тТ} = 3);

α₁, α₂ – показання ватметрів, ділень.

P_k* - витрати при холостому ході у відносних одиницях

$$P_{k}^* = P_k/S$$

де S - потужність трансформатора, визначена у попередній роботі №1-Т, Вт.

cosφ_k - коефіцієнт потужності трансформатора при короткому замиканні

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3} \cdot U_K \cdot I_1}$$

r_k - активний опір короткого замикання

$$r_k \approx r_1 + r_2 \approx \frac{P_k}{3 \cdot I_1^2}, \text{ Ом.}$$

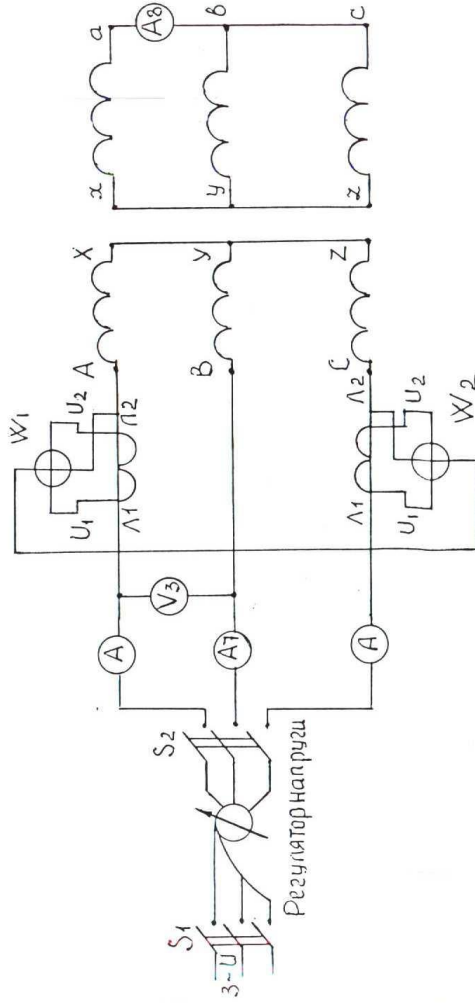


Рисунок 3.2 - Схема випробування трансформатора в режимі короткого замикання.

x_k , - індуктивний опір короткого замикання

$$x_k \approx x_1 + x_2' \approx \sqrt{z_k^2 - r_k^2}, \text{ Ом.}$$

z_k - повний опір короткого замикання

$$z_k \approx z_1 + z_2' \approx \frac{U_K}{I_1}, \text{ Ом.}$$

Значення r_k , z_k , $\cos\varphi_k$, виміряні при температурі навколишнього середовища $\theta_{\text{окр}}$ привести до номінальної робочої температури обмотки $+75^\circ\text{C}$; вважати що x_k , не залежить від температури:

$$r_{k(75)} = r_{k.o} \cdot \frac{309.5}{234.5 + \theta_{\text{окр}}},$$

$$z_{k(75)} = \sqrt{r_{k(75)}^2 - x_k^2},$$

$$\cos\varphi_{k(75)} = \frac{r_{k(75)}}{z_{k(75)}}.$$

Втрати короткого замикання, знайдені в досліді, приводяться до температури $+75^\circ\text{C}$

$$P_k = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_{k(75)}, \text{ Вт.}$$

Згідно з даними табл. 3.2 накреслити характеристики короткого замикання: $I_1 = (U_K)$, $P_k = f(U_K)$, $\cos\varphi_x = f(U_K)$.

Для номінального струму визначити напругу КЗ і порівняти її з рекомендованою в держстандартах.

Накреслити схему заміщення трансформатора при короткому замиканні, вказати її параметри.

3.1.3 По даним режимів холостого ходу і короткого замикання визначити параметри схеми заміщення трансформатора. Накреслити схему заміщення навантаженого трансформатора, при цьому прийняти:

$$r_1 \approx r_2' \approx \frac{r_k}{2},$$

$$x_1 \approx x_2' \approx \frac{x_k}{2}.$$

3.1.4 Побудувати векторну діаграму трансформатора для $U_{2\text{нф}}$, $I_{2\text{нф}}$, $\cos\varphi_2 = 0.8$. З векторної діаграми визначити $U_{1\text{н}}$, $I_{1\text{н}}$, $\cos\varphi_{1\text{н}}$.

3.1.5 Розрахувати і накреслити характеристику відсоткової зміни напруги $\Delta U\% = f(S_*)$ та зовнішню характеристику трансформатора $U_2\% = f(S_*)$ при $U_{1\text{н}} = \text{const}$, $\cos\varphi_2 = 0.8$, $f = 50$ Гц.

Відсоткову зміну напруги і зовнішню характеристику рекомендується розраховувати у слідуючій послідовності:

а) задатись відносним навантаженням трансформатора:

$$S_* = \frac{S}{S_{\text{н}}} = 0; 0.25; 0.5; 0.75; 1.0; 1.25.$$

б) визначити зміну вторинної напруги трансформатора, %

$$\Delta U\% = S_* \cdot (U_{\text{Какм.}}\% \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{Крн}}\% \cdot \sin\varphi_2)$$

$$\text{де } U_{\text{Какм.}}\% = \frac{I_{1\text{нф}} \cdot r_{\text{k}(75)}}{U_{1\text{нф}}} \cdot 100 - \text{активна складова напруги короткого замикання при номінальному струмі, \%}$$

$$U_{\text{Крн}}\% = \frac{I_{1\text{нф}} \cdot x_{\text{К}}}{U_{1\text{нф}}} \cdot 100 - \text{реактивна складова на пруги КЗ, \%}$$

г) розрахунки $\Delta U\%$ і $U_2\%$ звести в табл. 3.3., прийнявши $\cos\varphi_2 = 0.8$, $\sin\varphi_2 = 0.6$.

Таблиця 3.3 - Данні для характеристики процентної зміни напруги і зовнішньої характеристики

S_* , %	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25
$U_{\text{ка}}\% = S_* \cdot U_{\text{ка}}\% \cdot \cos\varphi_2$, %						
$U_{\text{кр}}\% = S_* \cdot U_{\text{кр}}\% \cdot \sin\varphi_2$, %						
$\Delta U\%$						
$U_2\% = 100 - \Delta U\%$, %						

3.1.6 Записати в табл 3.4 додаткові номінальні паспортні данні і порівірити їх з величинами, рекомендованими ДСТУ.

Таблиця 3.4 - Паспортні данні трансформатора, розраховані і рекомендовані державними стандартами

Номинальні величини	Одиниця	Данні з досліду	Рекомендовані держстандартами
U_k	В		-
$U_k\%$	%		3.8...10.05
$P_{кн}$	Вт		-
$P_{кн}$	%		3.0...3.7
$P_{хн}$	Вт		-
$P_{хн}$	%		1.0...1.2
$\cos\varphi_k$	-		0.4...0.6

3.1.7 Розрахувати і накреслити характеристику коефіцієнта корисної дії (ККД) трансформатора в залежності від відносного навантаження $\eta=f(S^*)$. По даним дослідів холостого ходу і короткого замикання визначити коефіцієнт корисної дії трансформатора,

$$\eta = \left(1 - \frac{P_x + S^{*2} \cdot P_{кн}}{S^* \cdot S_n \cdot \cos\varphi_2 + P_x + S^{*2} \cdot P_{кн}} \right), \%$$

де P_x - втрати холостого ходу при номінальній напрузі, Вт,

$$S^* = \frac{S}{S_n} = \frac{I_2}{I_{2н}} - \text{відносне навантаження трансформатора, в.о.,}$$

$P_{кн(75)} = m_1 \cdot I_{1н}^2 \cdot r_{к(75)}$ - втрати короткого замикання при номінальному струмі і температурі обмоток $+75^\circ\text{C}$, Вт,

S_n - номінальна потужність трансформатора, ВА.

Розрахунок коефіцієнта корисної дії звести в табл.3.5.

Таблиця 3.5 - Данні для розрахунку коефіцієнта корисної дії

S^* , в.о.	0	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25
$P_2 = S^* \cdot S_n \cdot \cos\varphi_2$, Вт.						
P^* , відн.один.						
$S^{*2} \cdot P_{кн}$, Вт.						
$S^* \cdot S_n \cdot \cos\varphi_2 + P_x + S^{*2} \cdot P_{кн}$, Вт.						
η , %						

Визначити відносне навантаження трансформатора, при якому коефіцієнт корисної дії буде максимальним. Відомо, що максималь-

ний ККД трансформатора буде при однаковості постійних втрат (втрат холостого ходу) і змінних втрат (втрат короткого замикання) $P^* = S^* \cdot P_{кн}$, звідки відносне навантаження трансформатора при якому коефіцієнт корисної дії буде максимальним, визначається

$$S^*(\eta_{\max}) = \sqrt{\frac{P_x}{P_k}}$$

1.8 Привести данні про відповідність випробуваного трансформатора вимогам держстандартів.

3.2 Вказівки по обсягу звіту

Звіт повинен мати:

- схеми, таблиці з даними вимірювань і розрахунковими величинами;
- графіки з поясненням змін кривих;
- схеми заміщення трансформатора;
- векторну діаграму трансформатора при активно-індуктивному навантаженні RL;
- характеристику відповідної зміни напруги і зовнішню характеристику;
- характеристику коефіцієнта корисної дії;
- висновки про відповідність випробуваного трансформатора вимогам державних стандартів.

3.3 Питання для самопідготовки

- 1 Як по характеристиці холостого ходу визначити номінальну напругу ?
- 2 Від чого залежить сила струму холостого ходу ?
- 3 На що витрачається підведена до трансформатора потужність при холостому ході і при короткому замиканні ?
- 4 Від яких параметрів залежить коротке замикання ?
- 5 Як визначити параметри намагнічуючого контуру ?
- 6 Як визначити силу сталого струму короткого замикання ?
- 7 При яких умовах ККД трансформатора буде максимальним?
- 8 При якому навантаженні коефіцієнт корисної дії буде максимальним ?
- 9 Чи зміниться напруга короткого замикання у відсотках від номінального, якщо дослід провести з сторони низької чи вищої напруги?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1-А

Тема: Вивчення конструкції та принципу роботи асинхронних машин.

Мета роботи - вивчення основних конструктивних елементів асинхронних машин.

4.1 Порядок виконання роботи

4.1.1 Вивчити устрій та призначення окремих елементів конструкції асинхронних машин (вивчити стенд асинхронних машин і продивитись слайди по асинхронним машинам).

4.1.2 Записати номінальні данні машини, вказані на заводському щитку, з'єсувати їх сутність.

4.1.3 Вивчити конструкцію асинхронної машини: визначити число полюсів, тип виконання, спосіб охолодження, тип підшипників, форми пазів статора та ротору.

4.1.4 Ознайомитись з позначеннями виводів обмоток статора та ротора, мегометром перевірити цілістність фазних обмоток. Звірити позначення обмоток з стандартними, приведенними табл.4.1.

Таблиця 4.1 - Позначення виводів обмоток трифазних асинхронних машин.

Обмотка	Умовне найменування фаз	Позначення виводів	
		Початок	Кінець
Статора	Перша	C1	C4
	Друга	C2	C5
	Третя	C3	C6
Ротора	Перша	P1	-
	Друга	P2	-
	Третя	P3	-

Опір ізоляції обмоток електричної машини між обмотками та обмоткою відносно її корпусу повинні бути не нижче значення, полученого з формули:

$$R_{13} = \frac{U_{1НЛ}}{S_H / 100 + 1000} \text{ МОм,}$$

де $U_{1НЛ}$ - номінальна лінійна напруга обмотки статора, В
 S_H - повна номінальна потужність, кВ·А,

$$S_H = \frac{P_{2Н}}{\eta \cdot \cos\varphi_H} \text{ кВ·А}$$

Звірити допустимий опір ізоляції з фазним, виміряним за допомогою мегометра. Результати вимірювань записати в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Величина опору ізоляції обмоток асинхронної машини, МОм.

Позначення виводів	C ₁ – C ₂	C ₁ -C ₃	C ₂ -C ₃	C ₁ -К	C ₃ -К	P _{1,2,3} -К
Опір						

В табл. 4.2 символом К позначений корпус машини.

4.1.5 Виконати ескізи основних частин та елементів конструкції асинхронного двигуна:

- статор у зборі;
- ротор у зборі;
- штамповану пластину пакету статора;
- штамповану пластину пакету ротора;
- клемну коробку.

4.1.6 Ознайомитись з роботою асинхронної машини в режимі двигуна:

- пуском двигуна;
- реверсуванню двигуна;
- процесом навантаження двигуна до номінального струму статора;
- зміненням швидкості при холостому ході та під навантаженням;
- зупинкою двигуна.

4.2 Вказівки по обсягу звіту

Звіт повинен мати:

- данні з заводського щитка;

- ескізи основних вузлів та елементів асинхронних двигунів,
- схеми дослідів і таблиці вимірянних даних;
- висновки.

4.3 Питання для самопідготовки

- 1 Принцип роботи асинхронних машин у режимі двигуна, електромагнітного гальма, генератора.
- 2 Призначення статора та ротору.
- 3 Чому магнітопровід ротору шихтований ?
- 4 Конструкція асинхронних двигунів з фазним та короткозамкненим ротором.
- 5 Від чого залежить частота обертання ротору?
- 6 Що таке проковзування?
- 7 Що вказано на заводському шитку асинхронного двигуна?
- 8 Які існують конструктивні виконання асинхронних двигунів?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 - А

Тема: Випробування трьохфазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором методом безпосереднього навантаження.

Мета роботи - ознайомитись з методом проведення випробувань асинхронного двигуна методом безпосереднього навантаження, зняти і побудувати робочі характеристики асинхронного двигуна, визначити номінальні данні випробуваного двигуна.

5.1 Порядок виконання роботи

5.1.1 Ознайомитись з конструкцією двигуна, типом його виконання способом охолодження. Визначити число полюсів .

5.1.2 Записати паспортні данні заводського щитка.

5.1.3 Перевірити відповідність способу з'єднання фаз обмотки статора напрузі мережі, використавши данні щитка для вибору вимірювальних приладів.

5.1.4 Зібрати схему відповідно мал. 5.1 для зняття робочих характеристик двигуна I_1 , P_1 , M_2 , n_2 , $\cos\phi_1$, $\eta = f(P_2)$, при $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$.

Для складання схеми випробування необхідно:

- ввімкнути Т1, Т2, Т3, А1, А2, А3;
- ввімкнути ватметри W1 s W2 через трансформатори струму ТТ1 і ТТ2 за допомогою автоматів АП3 і АП4;
- ввімкнути обмотку статора випробуваного двигуна за допомогою автомата АП7 до кола стенду;
- з'єднати обмотку статора в «зірку», поставити поворотні вимикачі ПВ1, ПВ2 і ПВ3 вертикально;
- ввімкнути вольтметр V1 тумблером Т9 направо;
- перевмикачі зміни межі вимірювань по струму і напрузі на ватметрах W1 і W2 поставити на максимальні значення. Встановити постійну ватметрів C_w ;
- ввімкнути автомат живлення АП1.

5.1.5 Зняти робочі характеристики випробуваного асинхронного двигуна при напрузі $U_1 = U_{1\text{ном}}$. При цьому струм статора змінювати в межах $(0.2 \div 1.25) \cdot I_{\text{ном}}$. Провести 5 - 7 вимірювань, одне з них повинно відповідати номінальному режиму $I_1 = I_{\text{ном}}$. Двигун навантажувати електромагнітним гальмом (моментоміром). Виміряні і роз-

рахункові данні записати в табл. 5.1. Частоту обертання ротора виміряти за допомогою тахометра.

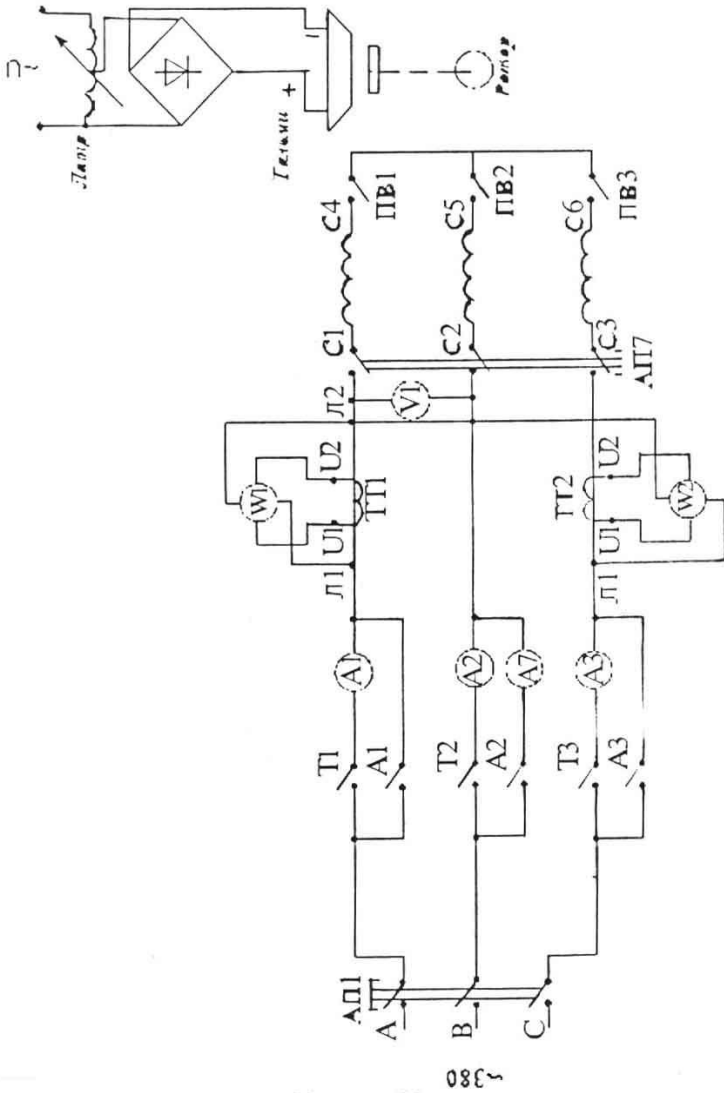


Рисунок 5.1 - Схема для випробувань трьохфазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором методом безпосереднього навантаження

Таблиця 5.1 - Виміряні і розрахункові данні для визначення робочих характеристик асинхронного двигуна при $U_1 = U_{1\text{ном}}$, $f_1 = f_{\text{ном}}$.

Данні вимірювань								Розрахункові данні							
U_1	I_{1A}	I_{1B}	I_{1C}	α_1	α_2	M_2	n_2	I_{1CP}	S_1	P_1	M_2^*	$\cos\varphi$	s	P_2	η
В	А	А	А	діл	діл	кгм	об/хв	А	В·А	Вт	в.о.		в.о	Вт	%

В табл. 5.1 прийняті слідуєчи позначення:

U_1 - підведена лінійна напруга, В;

I_{1CP} - фазний струм навантаження двигуна, А,

$$I_{CP} = \frac{I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}}{3}$$

α_1, α_2 - показання ватметрів, W_1 і W_2 , ділень;

M_2 - момент на валу двигуна, кг·М ;

n_2 - частота обертів ротору двигуна, об/хв;

S_1 - повна підведена потужність, В·А

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_{1CP}$$

P_1 - активна підведена потужність, Вт,

$$P_1 = C_w \cdot C_{TT} \cdot (\alpha_1 + \alpha_2)$$

де C_w - постійна ватметра, Вт/діл. ;

C_{TT} - коефіцієнт трансформації струму ($C_{TT} = 3$).

M_2^* - момент на валу двигуна, відн. одиниць,

$$M_2^* = \frac{M_2}{M_{2H}}$$

$$M_{2H} = \frac{P_{2H}}{\omega_2}$$

де P_{2H} - номінальна потужність зі щитка;

ω_2 - кутова частота обертання ротору, рад /с,

n_2 - частота обертання ротору (зі щитка)

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_2}{30}$$

P_2 - потужність на валу двигуна, Вт

$$P_2 = M_2 \cdot \omega_2 \cdot g$$

де g - прискорення вільного падіння ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$);

s - проковзування, в.о.

$$s = (n_1 - n_2) / n_1$$

n_1 - синхронна частота обертання магнітного поля статора, об/хв,

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{P}$$

η - ККД двигуна, %,

$$\eta = \frac{P_2}{S_1} \cdot 100\%$$

5.1.6 По даним вимірювань і розрахунків табл. 7.1 побудувати робочі характеристики асинхронного двигуна:

$$I_1, P_1 = f(P_2);$$

$$s, \eta, \cos\phi = f(P_2);$$

$$M_2, n_2 = f(P_2)$$

відповідно на трьох різних малюнках для номінальної напруги.

5.1.7 В табл. 5.2. записати номінальні данні, визначені з заводського щитка асинхронного двигуна, а також з його робочих характеристик, знятих при номінальній напрузі. Порівняти їх.

Таблиця 5.2 - Номінальні дані двигуна

Величина	Дані заводського щитка	Дані випробувань
Потужність на валу P_{2H} , кВт		
Схема з'єднання обмотки статора		
Ном. підведена напруга U_1 , В		
Ном. лінійний струм статора I_{1H} , А		
Ном. підведена потужність P_{1H} , Вт		
Ном. частота обертання ротору об/хв		
Ном. проковзування, в.о.		
Номінальний момент на валу, Н·м		
ККД η , %		

5.2 Вказівки по обсягу звіту

Звіт повинен мати:

- схеми, таблиці, графіки робочих характеристик;
- порівняльний аналіз робочих характеристик;
- висновки про випробуваний двигун.

5.3 Питання для самопідготовки

- 1 Засоби визначення робочих характеристик асинхронних двигунів.
- 2 Переваги й недоліки засобу безпосереднього навантаження при випробуванні двигуна.
- 3 Пояснити графічну залежність $n_2, \cos\varphi_1, M_2, P_1, I_1 = f(P_2)$.
- 4 Пояснити графічну залежність $\eta = f(P_2)$ і умови максимуму ККД.
- 5 Від чого залежить максимальний момент асинхронного двигуна?
- 6 Назвати пускові характеристики асинхронного двигуна.
- 7 Сутність процесів при запуску двигуна з поглибленим пазом на роторі та з двохклітинним ротором.
- 8 Основні переваги і недоліки асинхронних двигунів.
- 9 Чому знижується коефіцієнт асинхронного двигуна при зменшенні n навантаження менше номінального?
- 10 Чи підвищиться коефіцієнт потужності асинхронного двигуна при зниженні напруги, підведеної до статора?
- 11 Залежність між моментом асинхронного двигуна і напругою.

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1-С

Тема: Вивчення конструкції та принципу роботи синхронних машин.

Мета роботи - Вивчити основні конструктивні елементи явно- й неявнополюсних синхронних машин; продемонструвати роботу синхронного генератора.

6.1 Порядок виконання роботи

6.1.1 Вивчити устрій та призначення окремих елементів конструкції явно- й неявнополюсних синхронних машин з використанням стендів, плакатів, макетів, слайдів.

6.1.2 Записати номінальні дані синхронного генератора, вказані на заводському щиті, знайти їх сутність.

6.1.3 Ознайомитись з позначенням виводів обмоток статора й ротора, мегометром перевірити цільність фазних обмоток, порівняти позначення обмоток статора й ротора з позначеннями таких в асинхронних машинах.

6.1.4 Визначити число полюсів, виконання, засіб охолодження, тип підшипників, форму пазів статора, засіб збудження синхронного генератора.

6.1.5 Виконати ескізи основних частин і елементів конструкції синхронного генератора:

- а) статора;
- б) ротора;
- в) полюса ротора;
- г) штампованої пластини пакета статора;
- д) секції обмоток статора й ротора;
- е) клемної коробки;
- ж) щіткового апарату та вузла контактних кілець струмопроводу обмотки ротору;

6.1.6 Ознайомитись з роботою трифазної синхронної машини в режимі генератора.

- а) вивчити призначення машин в агрегаті;
- б) ознайомитись зі схемою на рис. 6.1;
- в) засвоїти принцип роботи генератора;

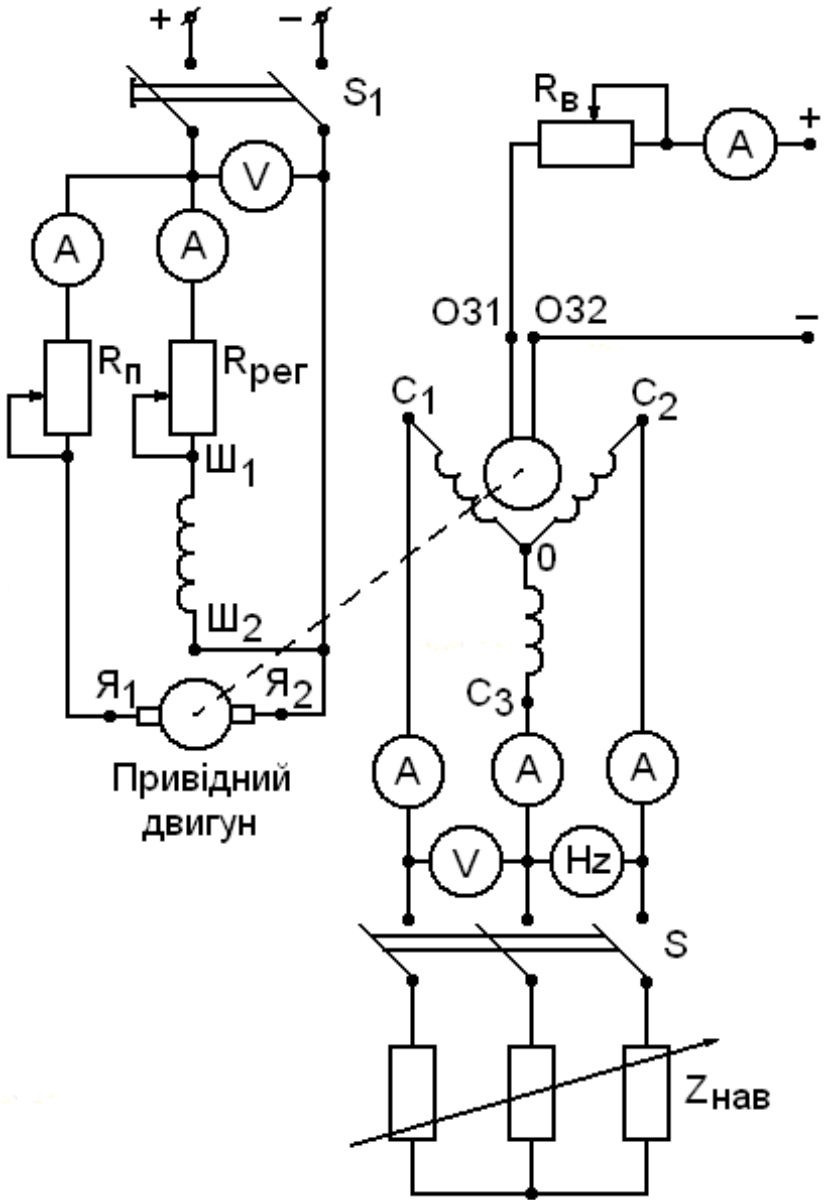


Рисунок 6.1 – Схема синхронного генератора

г) здійснити пуск генератора за допомогою приводного двигуна постійного струму;

д) збудити генератор;

е) навантажити до номінального навантаження;

ж) зупинити агрегат.

6.2 Вказівки по обсягу звіту

Звіт повинен мати:

а) дані заводського щитка;

б) ескізи основних вузлів, елементів конструкції синхронної машини;

в) схему вмикання генератора.

6.3 Питання для самопідготовки

1 Принцип роботи синхронної машини.

2 Режим роботи синхронної машини (генератора, двигуна).

3 Устрій явнополюсних синхронних машин.

4 Устрій неявнополюсних синхронних машин.

5 Різниця в конструктивному виконанні ротора турбогенератора та гідрогенератора.

6 Призначення короткозамкненої обмотки на роторі синхронної машини.

7 Чому діаметр ротора потужних турбогенераторів різних номінальних потужностей має приблизно однакові значення: 1000-1200мм.

8 Чому ротор турбогенератора масивний, а ротор асинхронної машини шихтований?

9 Чому гідрогенератор має більший радіальний розмір, а турбогенератор - більший розмір вздовж осей при відносно малих інших габаритних розмірах?

10 Засоби збудження синхронних машин.

11 Можлива кількість контактних кілець синхронного генератора. На що вказує кількість контактних кілець?

12 Конструкція генератора парасолькового типу.

13 Конструкція генератора підвісного типу.

14 Принцип роботи синхронного генератора з самозбудженням.

15 Способи охолодження синхронних генераторів.

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2-С

Тема: Паралельна робота синхронного генератора з потужною мережею.

Мета роботи - Вивчити засоби вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з потужною мережею; можливості синхронного генератора віддавати активну або реактивну енергію (потужність) при паралельній роботі з мережею; зняти та вивчити характеристики синхронного генератора при паралельній роботі його з мережею.

7.1 Основні теоретичні положення

Існує два методи вмикання генераторів на паралельну роботу з мережею точної та грубої синхронізації.

7.1.1 Умови вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом точної синхронізації:

- а) ЕРС вмикаємого генератора E_G повинна дорівнювати напрузі мережі U_M ;
- б) частота генератора f_G повинна дорівнювати частоті мережі f_M ;
- в) послідовність чередування фаз генератора та мережі повинні бути однакові;
- г) вектори ЕРС генератора E_G и напруги мережі U_M повинні знаходитись в протифазі.

7.1.2 Вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом синхронізації.

Безпосередньо перед вмиканням синхронного генератора на паралельну роботу з мережею необхідно перевірити виконання умов вмикання. Рівність ЕРС генератора й напруги мережі перевіряють вольтметром, рівність частот - частотоміром. Послідовність чередування фаз перевіряється фазовказувачем, зсув між векторами ЕРС генератора і напруги мережі - ламповим синхроскопом.

При точному виконанні вказаних умов можна вмикати синхронний генератор на паралельну роботу з потужною мережею.

До недоліків точної синхронізації можна віднести: складність схеми, довготривалість процесу та складність його автоматизації.

7.1.3 Вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом самосинхронізації.

У наш час цей метод має достатньо широке розповсюдження. Сутність його в наступному. Обмотка збудження закорочується на розрядний опір, а ротор приводиться в обертання. При частоті обертання ротора близької до синхронної, обмотка статора незбудженого генератора приєднується до загальних сумісних шин (на напругу мережі). При досягненні підсинхронної частоти обертання ротора, на обмотку ротора подається постійна напруга і вмикається розрядний опір. За рахунок взаємодії магнітних полів статора та обмотки збудження ротор починає обертатись синхронно з полем статора (втягується в синхронізм). Вмикання синхронного генератора з розімкнутим колом збудження не допускається, бо при цьому в обмотці збудження індуктується значна ЕРС, яка може здійснити пробивання ізоляції.

До недоліків методу самосинхронізації відносять значні коливання струму в момент вмикання.

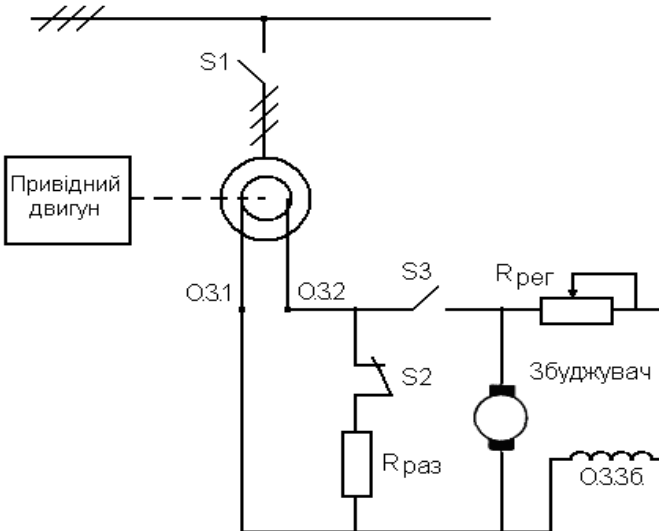


Рисунок 7.1 - Принципова схема вмикання синхронного генератора на паралельну роботу з мережею методом самосинхронізації

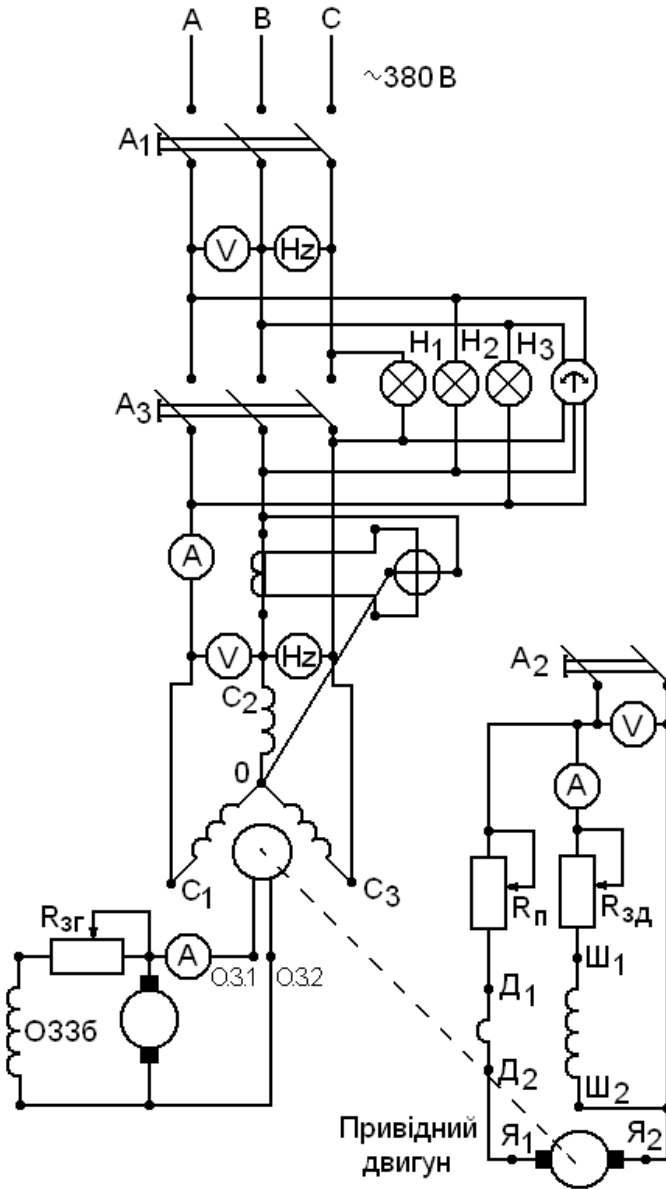


Рисунок 7.2 - Порядок вмикання синхронного генератора на паралельну роботу методом точної синхронізації

Послідовність операцій при вмиканні генератора за схемою (рис. 7.1) наведена в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 - Послідовність операцій при вмиканні синхронного генератора на паралельну роботу методом самосинхронізації

Режим	Операція	Положення вимикачів		
		S1	S2	S3
Підготовчий	Обмотку збудження СГ ввімкнути на розрядний опір	вимкн.	ввімкн.	ввімкн.
Пусковий	Ротор СГ привести до обертання первинним двигуном	ввімки.	ввімки.	ввімкн.
Попередня синхронізація	Обмотку статора СГ підключити до збірних шин	ввімки.	ввімки.	вимкн.
Синхронізація	Обмотку збудження СГ підключити до збуджувача	ввімкн.	ввімкн.	ввімкн.
Робота	Вимкнути розрядний опір	ввімкн.	вимкн.	ввімкн.

7.2 Порядок виконання роботи

7.2.1. Порядок вмикання синхронного генератора на паралельну роботу методом точної синхронізації.

Визначити тип і призначення машин в агрегатах. Записати дані заводських щитків машин, пускових та регулювальних апаратів, вимірювальних приладів.

Перевірити зібрану схему з наведеною на рис. 7.2.

Підготувати схему до роботи: ввімкнути послідовно автомати, ввести пусковий реостат. За допомогою лампового синхроскопа та реостатів забезпечити виконання умов точної синхронізації. При найповільнішому обертанні світла на синхроскопі ввімкнути синхронний генератор на паралельну роботу з мережею.

Навантажити синхронний генератор активним та реактивним навантаженням.

Активне навантаження збільшується шляхом збільшення моменту первинного двигуна за рахунок збільшення кута вильоту ротора θ . Реактивне навантаження здійснюється шляхом зміни струму збудження (змінюю магнітного потоку синхронного генератора). Зміну активного навантаження контролювати ватметром, реактивного – амперметром в колі ротора генератора.

Зняти U - подібні криві синхронного генератора $I = f(I_3)$; для значень активних навантажень $(0; 0.1; 0.2) P_H$.

Виконати вимірювання для кожної з U - подібних характеристик синхронного генератора.

Таблиця 7.2 – Результати зняття U - подібних характеристик синхронного генератора

№	Навантаження P , кВт	Дані вимірювань			Розрахункові дані			
		U , В	I , А	I_3 , А	$\cos \varphi$ -	S , ВА	I_a , А	I_p , А

Розрахунок повної потужності синхронного генератора, ВА

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I,$$

де I - фазний струм статора, А,

U - лінійна напруга статора, В.

Активна складова струму статора, А

$$I_a = I \cdot \cos \varphi$$

Реактивна складова струму статора, А

$$I_p = I \cdot \sin \varphi$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

7.3 Вказівки по обсягу звіту

Звіт повинен мати:

- Схеми, розрахункові формули, таблиці;
- U - подібні характеристики з поясненням їх спрощеними векторними діаграмами;
- короткий опис виконаної роботи.

7.4 Питання для самопідготовки

- 1 Назвіть умови вмикання синхронного генератора на паралельну роботу засобом точної синхронізації.
- 2 Чим викликається необхідність паралельної роботи синхронних генераторів?
- 3 Охарактеризуйте засоби вмикання синхронних генераторів на паралельну роботу.
- 4 Назвіть формулу електромагнітної потужності синхронного генератора та накресліть куту характеристику.
- 5 Як навантажити синхронний генератор активною та реактивною потужністю?
- 6 Як перевести синхронний генератор в режим синхронного двигуна або синхронного компенсатора?
- 7 Накреслити U - *подібну* характеристику синхронного двигуна.
- 8 Фізична сутність кута вильоту ротора. Як він змінюється при зміні навантаження СГ, працюючого паралельно з мережею?

8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1-П

Тема: Вивчення конструкції машин постійного струму

Мета роботи - Вивчити устрої окремих елементів (вузлів) машини постійного струму та машини в зборі; принцип роботи машини в режимах генератора й двигуна; продемонструвати роботу машини постійного струму в режимах генератора та двигуна; виміряти опори обмоток і ізоляції обмоток машини.

8.1 Порядок виконання роботи

8.1.1 Вивчення устрою й принципу роботи машини:

- а) вивчити устрій і призначення окремих елементів машин постійного струму та машини в зборі;
- б) роздивитися устрій і принцип роботи машин при демонстрації навчального фільму;
- в) записати дані заводського щітка машини й усвідомити їхню сутність.

8.1.2 Визначити й записати параметри машини з указівкою числа:

- а) головних полюсів $2p$;
- б) додаткових полюсів $2p_d$;
- в) щіток на одному щітковому пальці;
- г) щіткових пальців;
- д) колекторних пластин, що перекриваються щіткою.

8.1.3 Зробити ескіз основних частин і елементів машини з вказівкою їх розмірів:

- а) статора (повздовжній і поперечний розрізи);
- б) якоря (повздовжній, поперечний розрізи й зубцові ділянки);
- в) головного полюса;
- г) додаткового полюса;
- д) секції якоря;
- е) колектора (повздовжній і поперечний розрізи);
- ж) щіткового апарата.

Зазначити найменування й призначення частин машини.

8.1.4 Накреслити схему з'єднання котушок головних полюсів між собою; підключити котушки головних полюсів до джерела пос-

тійного струму та визначити полярність головних полюсів за допомогою компаса або магнітної стрілки.

8.1.5 По показчику напруги визначити затискачі обмоток машини та позначити їхніми буквами й індексами відповідно до таблиці 4.1.

8.1.6 Накреслити принципову схему з'єднання обмотки якоря з обмотками додаткових і головних полюсів.

Таблиця 8.1 - Позначення обмоток машин постійного струму

Найменування обмотки	Позначення виводів		Графічне позначення
	початок	кінець	
Обмотка паралельного або незалежного збудження (шунтова)	Ш1	Ш2	
Обмотка якоря	Я1	Я2	
Обмотка додаткових полюсів	Д1	Д2	
Послідовна обмотка збудження (серієсна)	С1	С2	
Компенсаційна обмотка	К1	К2	

8.1.7 Демонстрація роботи генератора постійного струму незалежного збудження:

а) ознайомитися з призначенням машин в агрегаті та зі збіраною схемою, засвоїти призначення апаратів і приладів у схемі;

б) засвоїти принцип роботи генератора;

в) здійснити пуск генератора;

г) збудити генератор;

д) навантажити генератор до номінального навантаження;

е) усвідомити засоби регулювання напруг генератора й навантаження.

8.1.8 Демонстрація роботи двигуна постійного струму паралельного збудження:

а) ознайомитися з призначенням машин в агрегаті та з збіраною схемою;

б) усвідомити призначення апаратів і приладів у схемі;

- в) засвоїти принцип роботи двигуна;
- г) здійснити пуск двигуна;
- д) навантажити двигун до номінального навантаження;
- е) усвідомити засоби регулювання частоти обертання якоря двигуна.

8.2 Вказівки по обсягу звіту

Звіт про лабораторну роботу повинен містити виклад матеріалу, зазначений у пп. 8.2.1 - 8.2.6 і висновок.

8.3 Питання для самопідготовки

- 1 Принцип роботи генератора.
- 2 Принцип роботи двигуна.
- 3 Призначення головних полюсів.
- 4 Призначення додаткових полюсів.
- 5 Призначення обмотки якоря.
- 6 Особливості ЕРС, яка індуктується в якорній обмотці машини постійного струму (МПС).
- 7 Призначення колектора та щіток у МПС.
- 8 Як визначити напрямок ЕРС у провідниках обмотки якоря при роботі машини в режимі генератора або в режимі двигуна, якщо задана полярність головних полюсів і напрямок обертання якоря?
- 9 Як визначити напрямок обертання якоря машини постійного струму при роботі в режимі двигуна, якщо задана полярність головних полюсів і напрямок струму в провідниках обмотки якоря?
- 10 Як регулюється напруга генератора?
- 11 Як регулюється швидкість обертання якоря двигуна?
- 12 Чому в машинах постійного струму ярмо (станина) виконується з суцільного металу, а полюса та якір - з листової сталі (шихтовані)?

9 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2-П

Тема: Випробування генератора постійного струму при незалежному та паралельному збудженнях

Мета роботи - Вивчити конструктивні особливості машини постійного струму; номінальні дані, зазначені на заводському щитку машини; фізичні процеси й властивості генератора постійного струму шляхом зняття характеристик холостого ходу, зовнішніх, регульовальних і зробити їхній аналіз; за результатами випробувань оцінити досліджуваний генератор.

9.1 Порядок виконання роботи

9.1.1 Записати дані заводського щитка випробуваного генератора, приводного двигуна та конструктивних особливостей випробуваної машини: число головних і додаткових полюсів, тип виконання (відкрита, захищена), засіб охолодження (природна, самовентиляція, незалежна вентиляція), тип підшипників.

9.1.2 За допомогою вольтметра перевірити позначення затискачів обмоток на щитку генератора. Накреслити в звіті розташування затискачів на щитку машини та їхнє позначення.

9.1.3 Відповідно до номінальних даних генератора та схемою випробування підібрати вимірювальні прилади для зняття характеристик: холостого ходу $U_X = f(I_3)$, зовнішньої $U = f(I_A)$, регульовальної $I_3 = f(I_A)$.

9.2 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму незалежного збудження

9.2.1 Зібрати схему генератора постійного струму незалежного збудження (рис. 9.1) для зняття характеристик: холостого ходу $U_X = f(I_3)$, зовнішньої $U = f(I_A)$, регульовальної $I_3 = f(I_A)$.

9.2.2 Перед умиканням схеми двигуна під напругу встановити ручку пускового реостата в ланцюзі якоря двигуна в положення "Пуск" (при цьому опір пускового реостата цілком уведено), движок регульовального реостата в ланцюзі збудження двигуна - у положення, при якому опір реостата виведено (дорівнює нулю).

9.2.3 Зробити пробний пуск двигуна. Відповідно до стандарту пусковий струм повинний бути не більш $2I_H$. Збудити та навантажити генератор; переконатися, що стрілки приладів у схемах двигуна й генератора відхиляються в нормальне положення. У противному разі відключити двигун, дочекатися його повного припинення та зробити зміну полярності підключення приладів.

9.2.4 Встановити щітки в положення геометричної нейтралі методом найбільшої напруги при холостому ході. При цьому якір генератора призвести в обертання з номінальною частотою обертання й збудити генератор приблизно до $(0.5...0.8) U_H$. Потім щітки разом із щітковою траверсою пересувати по напрямку обертання якоря генератора або проти обертання та встановити в положення, у якому вольтметр, залучений на затискачі якоря генератора, покаже найбільшу напругу. Це положення щіток і є положення на геометричній нейтралі. Закріпити щіткову траверсу в цьому положенні.

9.2.5 Зняти характеристику холостого ходу:

$$U_X = f(I_3) \text{ при } I_A = 0; n = \text{const} = n_H.$$

При знятті характеристики вмикач ланцюга навантаження повинний бути відключений, якір генератора приведений в обертання приводним двигуном і обертатися з номінальною швидкістю.

Першу точку характеристики розрахувати при відключеному автоматі (рубильнику) ланцюга збудження, тобто при $I_3 = 0$. Якщо при цьому напруга на затискачах якоря генератора не дорівнює нулю, то це означає, що головні полюси мають залишковий магнітний потік. Включити автомат (рубильник) ланцюга збудження та зняти характеристику, поступово підвищуючи струм збудження до значення, при котрому $U_X = (1.2...1.3)U_H$. При цьому зробити 5 - 8 вимірів. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 9.1.

Таблиця 9.1 - Дані вимірів і розрахункові дані характеристики холостого ходи незалежного збудження

№	Дані вимірювань			Розрахункові дані		
	U_X , В	I_3 , А	n , об/хв	U_X , В	U_{*X} в.о.	I_{*3} , в.о.

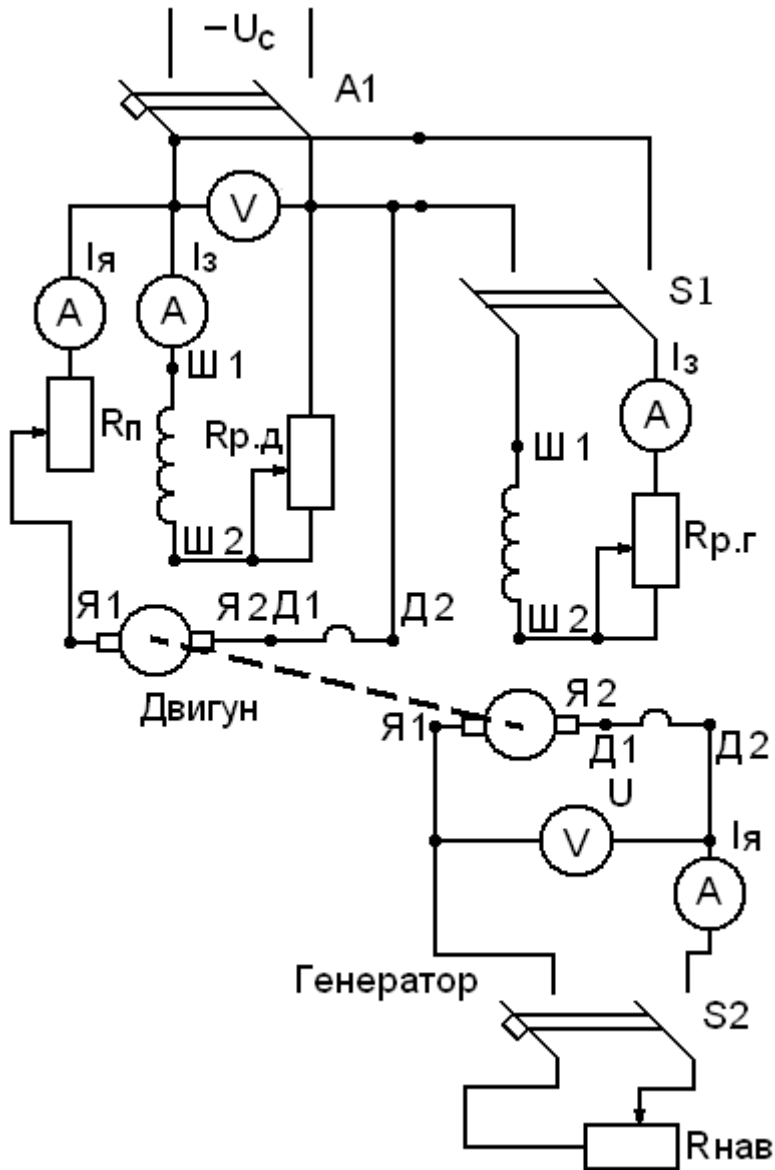


Рисунок 9.1 - Схема генератора постійного струму незалежного збудження з електроприводом (двигуном постійного струму)

При заповненні табл.9.1 у випадку відхилення частоти обертання якоря генератора n від номінальної частоти n_H вимірювану напругу холостого ходу U'_X перерахувати на напругу холостого ходу U_X при номінальній частоті обертання якоря за формулою

$$U_X = U'_X \cdot n_H / n$$

У табл. 5.1 прийняті такі позначення:

$U_{*X} = U_X / U_H$ - напруга генератора при холостому ході, в.о.;

$I_{*3} = I_3 / I_{3XH}$ - струм збудження, в.о.;

I_{3XH} - струм збудження при $U_X = U_H$.

За розрахунковими даними табл. 9.1 побудувати характеристику холостого ходу у відносних одиницях

$$U_{*X} = f(I_{*3})$$

На цій характеристиці відзначити номінальну напругу $U_{*X} = 1$ і відповідний цій напрузі струм збудження I_{*3XH} . Пояснити закон зміни характеристики холостого ходу $U_{*X} = f(I_{*3})$, використовуючи формулу ЕРС якоря генератора

$$E_{я} = C_e \cdot n \cdot \Phi.$$

Проаналізувати вид характеристики холостого ходу (по ділянках кривої). Визначити й оцінити коефіцієнт насичення магнітного кола генератора

$$K_{НАС} = F_{*X} / F_{*0} = I_{*3XH} / I_{*30},$$

де F_{*X} - МРС при $U_{*X} = 1$;

F_{*0} - МРС повітряного зазора при $U_{*X} = 1$;

I_{*3XH} - струм збудження, який відповідає F_{*X} ;

I_{*30} - струм збудження, який відповідає F_{*0}

У машинах звичайного виконання $K_{НАС} = 1.1 \dots 1.35$.

9.2.6 Зняти зовнішню характеристику:

$$U = f(I_{я}) \text{ при } I_3 = const; n = const = n_H.$$

Зняття зовнішньої характеристики зробити за схемою (рис.9.1) при включеному рубильнику навантаження. Якір генератора привести в обертання до номінальної швидкості, збільшити навантаження до номінального струму $I_{я} = I_H$ при номінальній напрузі $U = U_H$; отриманий струм збудження прийняти за номінальний. Якщо при номінальному струмі якоря генератора неможливо одержати номі-

нальну напругу, реально отриману напругу при номінальному струмі прийняти за вихідну. Потім змінювати опір навантажувального реостата так, щоб струм навантаження змінювався приблизно через $0.25I_H$ у межах $(0...1.25)I_H$. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 9.2. При цьому зробити 5 - 8 вимірів.

Таблиця 9.2 - Дані вимірів і розрахункові дані зовнішньої характеристики генератора незалежного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I _я , А	I _з , А	n, об/хв	U* в.о.	I* _я , в.о.

У табл.9.2 прийнята такі позначення:

$U_* = U / U_H$ - напруга, в.о.;

$I_{*a} = I_a / I_H$ - струм навантаження (якоря), в.о.

Побудувати зовнішню характеристику у відносних одиницях. На характеристиці показати номінальні дані U_{*H} та I_{*H} . Визначити підвищення напруги при скиданні номінального навантаження

$$\Delta U_{\%} = (U_X - U_H) / U_H \cdot 100,$$

де $\Delta U_{\%}$ звичайно знаходиться в межах (8 -3)%. Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння рівноваги ЕРС якоря.

9.2.7 Зняти регульовальну характеристику:

$$I_z = f(I_a) \text{ при } U = \text{const} = U_H; n = \text{const} = n_H.$$

Зняття регульовальної характеристики зробити за схемою (рис. 9.1) при включеному вимикачі навантаження. При $I_a = I_H$ та $n = n_H$ установити номінальну (або можливу) напругу на затискачах якоря генератора. Потім змінювати опір навантажувального реостата так, щоб струм навантаження змінювався в межах $(0 ... 1.25)I_H$ приблизно через $0.25I_H$. Одночасно регулювати струм збудження так, щоб напруга на затискачах якоря залишалася постійною. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 9.3. При цьому зробити 5 - 8 вимірів.

Таблиця 9.3 - Дані вимірів і розрахункові дані регулювальної характеристики генератора незалежного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I _я , А	I _з , А	n, об/хв	I* _я , в.о.	I* _з , в.о.

У табл. 9.3 прийняті такі позначення:

$I_{*з} = I_z / I_{зХН}$ - струм збудження, в.о.;

$I_{зХН}$ - струм збудження при холостому ході і $U_X = U_H$.

За розрахунковими даними табл. 9.3 побудувати регулювальну характеристику у відносних одиницях

$$I_{*з} = f(I_{*я}),$$

на якій показати номінальний струм якоря $I_{*я} = 1.0$ і відповідний йому струм збудження $I_{*зН}$. Обчислити відношення струму збудження до струму якоря:

$$I_{зН\%} = I_{зН} / I_H \cdot 100.$$

Визначити ступінь регулювання струму збудження

$$\Delta I_{з\%} = (I_{зН} - I_{зХ}) / I_{зХ} \cdot 100,$$

де $I_{зН}$, $I_{зХ}$ - струм збудження відповідно до номінального струму якоря і холостого ходу.

Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння ЕРС якоря генератора.

9.3 Порядок виконання роботи при випробуванні генератора постійного струму паралельного збудження

9.3.1 Зібрати схему генератора паралельного збудження (рис. 9.2) для зняття характеристик: холостого ходу, зовнішньої і регулювальної. Привести якор генератора в обертання приводним двигу-

ном (двигуном постійного струму). Перевірити умови самозбудження генератора (наявність залишкового потоку, напрямок обертання й ін.).

9.3.2 Зняти характеристику холостого ходу:

$$U_X = f(I_3) \text{ при } I_{HAB} = 0; n = const = n_H.$$

Характеристику зняти аналогічно характеристиці холостого ходу генератора незалежного збудження. Перший вимір зробити при $I_3=0$ (при розімкненому ланцюгу збудження). Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 9.4.

Таблиця 9.4 - Дані вимірів і розрахункові дані характеристики холостого ходу генератора паралельного збудження

№	Дані вимірювань			Розрахункові дані		
	U_X , В	I_3 , А	n , об/хв	U_X , В	U_{*X} в.о.	I_{*3} , в.о.

За розрахунковими даними табл. 9.4 побудувати характеристику холостого ходу у відносних одиницях на одному рисунку з характеристикою холостого ходу генератора незалежного збудження. На цій характеристиці показати номінальні $U_{*X} = 1$ і $I_{*3} = 1$.

9.3.3 Зняти і побудувати зовнішню характеристику

$$U = f(I_A) \text{ при } r_{ЛЗ} = const; n = const = n_H.$$

де $r_{ЛЗ}$ - опір ланцюга збудження .

Характеристику зняти аналогічно зовнішній характеристиці генератора незалежного збудження. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 9.5.

Таблиця 9.5 - Дані вимірів і розрахункові дані зовнішньої характеристики генератора паралельного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U , В	I_A , А	I_3 , А	n , об/хв	U^* в.о.	I_{*A} , в.о.

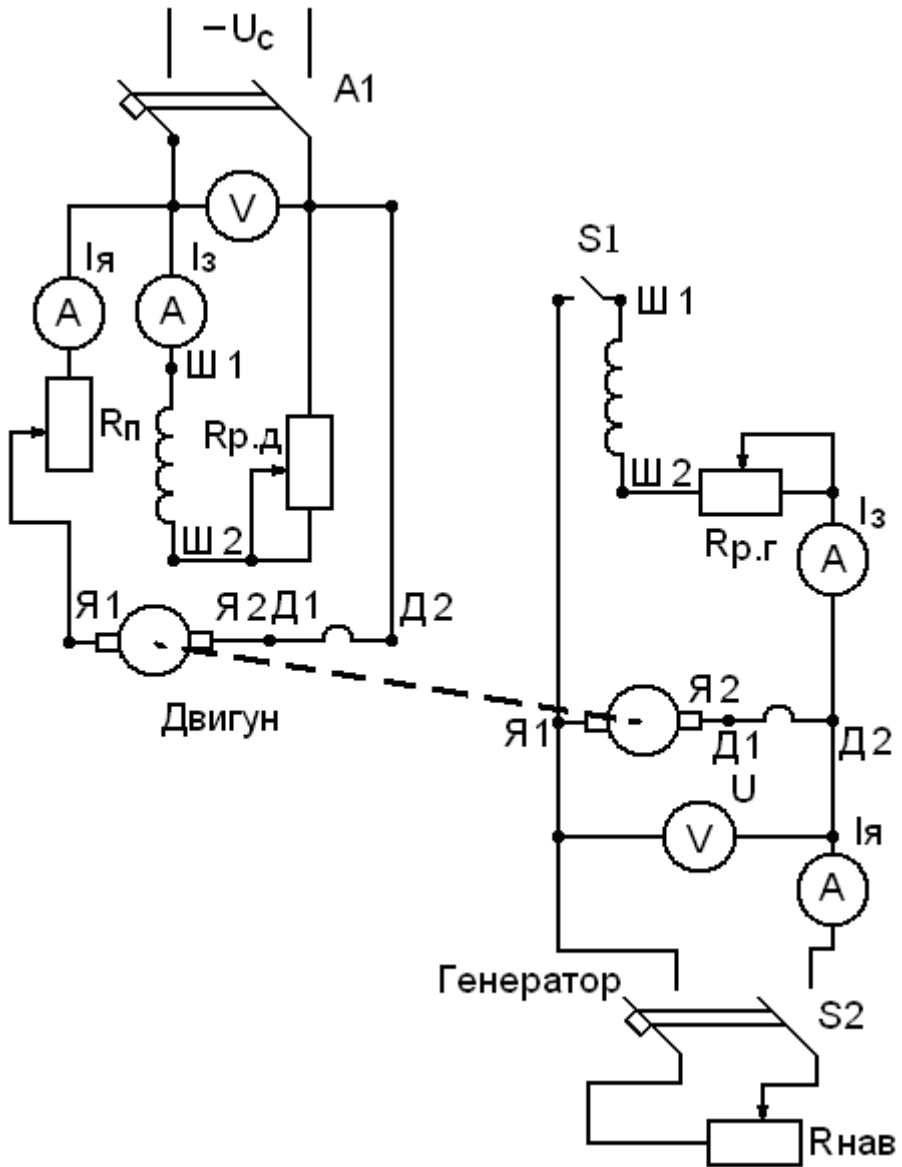


Рисунок 9.2 - Схема генератора постійного струму паралельного збудження з електроприводом (двигуном постійного струму)

Побудувати зовнішню характеристику у відносних одиницях на однім рисунку з зовнішньою характеристикою генератора незалежного збудження. На характеристиці показати номінальні дані машин. Визначити підвищення напруги $\Delta U\%$ і порівняти з $\Delta U\%$ генератора незалежного збудження. Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння рівноваги ЕРС якоря.

9.3.4 Зняти регульовальну характеристику:

$$I_3 = f(I_{\text{я}}) \text{ при } U = \text{const} = U_{\text{н}}; n = \text{const} = n_{\text{н}}.$$

Характеристику зняти аналогічно регульовальній характеристиці генератора незалежного збудження. Дані вимірів і розрахункові записати в табл. 9.6.

Таблиці 9.6 - Дані вимірів і розрахункові дані регульовальної характеристики генератора паралельного збудження

№	Дані вимірювань				Розрахункові дані	
	U, В	I _я , А	I _з , А	n, об/хв	I* _я , в.о.	I* _з , в.о.

Побудувати регульовальну характеристику у відносних одиницях на одному рисунку з регульовальною характеристикою генератора незалежного збудження.

На характеристиці показати номінальні дані. Пояснити закон зміни характеристики, використовуючи рівняння ЕРС якоря генератора.

Обчислити процентне відношення номінального струму збудження до номінального струму якоря:

$$I_{\text{ЗН}\%} = I_{\text{ЗН}} / I_{\text{Н}} \cdot 100,$$

де $I_{\text{ЗН}}$ - відповідає $I = I_{\text{Н}}$. Порівняти $I_{\text{Н}\%}$ із тим, що рекомендується в табл. 9.7.

Таблиця 9.7 - Рекомендовані значення $I_{\text{ЗН}\%} = f(P_{\text{Н}})$

Р _н , кВт	0,5...20	2...5	5...10	10...20	20...50	50...100
I _{ЗН} , %	8...10	7	5	4	3	0.5

Визначити ступінь регулювання струму збудження $\Delta I_3\%$ при паралельному збудженні. Порівняти $I_{3H}\%$ і $\Delta I_3\%$ з відповідними даними, отриманими при незалежному збудженні.

9.3.5 Зробити аналіз і висновки про випробовувану машину на підставі зведеної таблиці 9.8 основних експериментальних даних і даних заводського щитка генератора. У випадку відхилення даних випробувань від даних заводського щитка, пояснити їх (висловити можливі причини наявних відхилень).

Таблиця 9.8 - Основні дані випробувань і щитка машини

№	Найменування величини	Позначення	Одиниці виміру	Збудження	
				Незалежне	Паралельне
1	Тип машини				
2	Номінальна потужність	P_H	кВт		
3	Номінальна напруга	U_H	В		
4	Номінальний струм якоря	I_H	А		
5	Номінальна швидкість обертання якоря	n_H	об/хв		
6	Струм збудження при холостому ході	I_{3XH}	А		
7	Струм збудження, $I_{3XH\%} = I_{3XH} / I_H \cdot 100$	$I_{3H\%}$	%		
8	Струм збудження при номінальному струмі якоря	I_{3H}	А		

Продовження таблиці 9.8

9	Те ж	$I_{\text{н}}\%$	%			
10	ККД	η	%			

9.4 Вказівки по обсягу звіту

Звіт повинен мати:

- а) схеми, таблиці з даними вимірів і розрахунковими, стислий опис виконаної роботи;
- б) накреслені характеристики у відносних одиницях за даними таблиць;
- в) таблицю, де порівнюються дані випробувань із даними заводського щитка;
- г) висновки про випробувану машину, що містять пояснення законів зміни характеристик із притягненням відповідних формул і пояснення можливих розбіжностей даних заводського щитка з даними випробувань.

9.5 Питання для самопідготовки

- 1 Які умови повинні бути виконані для самозбудження генератора постійного струму.
- 2 Яким приладом контролюється самозбудження генератора?
- 3 Які фактори визначають зміну напруги на затискачах генератора незалежного і паралельного збуджень при зміні навантаження?
- 4 Як потрібно змінити струм збудження при збільшенні навантаження генератора, щоб напруга на затискачах залишалася постійною?
- 5 Чим пояснюється наявність напруги на затискачах генератора при розімкненому ланцюгу збудження?
- 6 Які властивості генератора визначаються за характеристикою холостого ходу?
- 7 Що таке реакція якоря й як вона впливає на характеристики генератора?
- 8 Як впливає реакція якоря на ЕРС генератора?
- 9 Чому для генератора паралельного збудження не можна зняти зворотньої гілки характеристики холостого ходу?
- 10 Чим пояснити те, що величина струму дослідного КЗ генератора паралельного збудження менше номінального значення?

- 11 Чому номінальна напруга генератора вище стандартної напруги споживачів?
- 12 Основні умови самозбудження й засоби їхнього визначення.
- 13 Що таке критичний опір ланцюга збудження генератора?
- 14 Чи залежить величина критичного опору ланцюга збудження від швидкості обертання якоря?
- 15 Як визначити геометричну та фізичну нейтралі генератора дослідним шляхом?
- 16 Чому зі збільшенням навантаження збільшується струм якоря?
- 17 Як регулюється напруга генератора?
- 18 Чи є генератор постійного струму перетворювачем частоти?
- 19 Напишіть і проаналізуйте рівняння рівноваги ЕРС якоря.
- 20 Що таке номінальна зміна напруги при скиданні навантаження генератора та чому в генератора паралельного збудження його величина більше, ніж у генератора незалежного збудження?
- 21 Чому при узгодженому вмиканні обмоток збудження генератора змішаного збудження зовнішня характеристика утворюється більш жорсткою, чим при зустрічному вмиканні обмоток збудження?

ЛІТЕРАТУРА

ОСНОВНА

1. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Електробезпе́чність. Гранично допускаємі рівні напруги торкання і струмів. - Виданвицтво стандартів, 1982.
2. ГОСТ 12.2.007.1-15. ССБТ. Машины електричні обертаючі. Потреба безпе́чності. - Виробництво стандартів, 1982.
3. ГОСТ 12.2.007.2-15. ССБТ. Трансформатори силові і реактори електричні. Потреби безпе́чності. - Видавництво стандартів, 1982.
4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів і правила техніки безпе́ки при експлуатації електроустановок споживачів.
5. Костенко М.П., Піотровський Л.М. Електричні машини. - Ч. 1,2. - Л.: Енергія, 1972.
6. Вольдек А.І. Електричні машини. - Л.: Енергія, 1978.
7. Івнова - Смлєнський А.В. Електричні машини. - М.: Енергія, 1980.
8. Копилов І.П. Електричні машини. - М.: Енергоатомвидання, 1986.
9. Брускін Д.Е., Зорохович А.Є., Хвостов. Електричні машини. - Ч. 1,2.-М.:Вищ.шк.,1983.
10. Кацман М.М. Правління лабораторними роботами по електричним машинам і електроприводу. – СТП-7-63. - Запоріжжя:ЗМІ, 1983.
11. Методичні вказівки до лабораторних робіт по електричним машинам/ Скл. В.І. Бондаренко, В.Г.Савельєв.- Запоріжжя: ЗМІ, 1979.
12. Яримбаш Д. С. Розрахунок параметрів головних шинних пакетів секцій печей графітації змінного струму [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Д. С. Яримбаш, С. Т. Яримбаш – Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. ISBN 978-617-529-171-9 Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/2682>

ДОДАТКОВА

13. Власенко Р. В. Аналіз енергетичних процесів в трифазному силовому активному фільтрі з використанням спектрального моделювання / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 12-18.

14. Міщенко Т. М. Перспективи схемотехнічних рішень і моделювання підсистем електричної тяги при високошвидкісному русі поїздів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 19-28.
15. Трушевський В. Е. Застосування автоматичних стрілок тролейбусу як детекторів в системах світлофорного авторегулювання / В. Е. Трушевський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 29-31.
16. Ершов А. В. Конвективный и лучистый теплообмен при плавлении проволоки в струе дуговой плазмы / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 37-42.
17. Крисан Ю. О. Модернізація лабораторного стенда дослідження асинхронного електропривода / Ю. О. Крисан // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 49-54.
18. Ярымбаш Д. С. Повышение энергоэффективности электротехнического комплекса графитации при модернизации боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 132/2012. Серія: Механіка, енергетика, екологія. 2012. С. 93–100
19. Сивокобыленко В. Ф. Совершенствование пусковых органов бавр в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой / В. Ф. Сивокобыленко, С. В. Деркачев // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 61-67.
20. Килимник И.М. Повышение эффективности обработки информации при регистрации контролируемых параметров в системах автоматического управления / И.М. Килимник, Д.С. Ярымбаш // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. 2007. – № 1. – С. 68 – 73
21. Ткаченко С. Н. Энергосистема будущего. Концепция smart grid. Специфика реализации на Украине / С. Н. Ткаченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 68-73.
22. Ярымбаш Д.С. Повышение эффективности управления режимами электрического обогрева при прессовании заготовок подовых блоков / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // Електротехніка та електроенергетика. – Запорозьє: ЗНТУ, 2006. – № 2. – С. 56 – 60.
23. Немудрый И. Ю. Повышение эффективности преобразования энергии в ветроэлектрических установках с аэродинамической мультипликацией / И. Ю. Немудрый // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 79-86.

24. Андриенко П.Д. Особенности моделирования температурного состояния технологической системы как объекта управления / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // *Електромашинобудування та електрообладнання*, 2006. №66 – С. 291–293.

25. Морозов Д. І. Вентильний двигун постійного струму на базі синхронної машини оберненої конструкції / Д. І. Морозов, І. С. Шевченко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 6-12.

26. Власенко Р. В. Порівняння методів компенсації неактивної потужності трифазним силовим активним фільтром з адаптивним релейним регулятором струму / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 20-27.

27. Ярымбаш С. Т. Идентификация характеристик системы резистивно-индукционного нагрева для транспортировки хлора методами математического моделирования / С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, Д. С. Ярымбаш, Д. А. Литвинов // *Материалы МНТК «ПАЭП. Теория и практика»*. – Харьков, 2010. – С. 320–324.

28. Михайленко В. В. Аналіз електромагнітних процесів у дванадцятипульсному напівпровідниковому перетворювачі з п'ятизонним регулюванням вихідної напруги / В. В. Михайленко, В. І. Чибеліс, Ю. П. Орлиця, О. Р. Трофименко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 28-31.

29. Андриенко П. Д. Особенности непрерывного контроля характеристик влагосодержания изоляции маслонаполненного электрооборудования / П. Д. Андриенко, А. А. Сахно, С. П. Конограй, Л. С. Скрупская // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 32-40.

30. Ярымбаш Д. С. Анализ электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах Ачесона / Д. С. Ярымбаш // *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*, 2014. №6 – С. 11 – 21.

31. Задорожня И. Н. Анализ свойств систем автоматического управления двухмассовым электроприводом при синтезе параметров на основе стандартных характеристических полиномов / И. Н. Задорожня, Н. А. Задорожний // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 2. - С. 54-58.

32. Ярымбаш Д. С. Численно-полевой анализ электромагнитных и электротепловых процессов в шинных пакетах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // *Ползуновский вестник*. – 2013. – №4–2. – С. 216–222

33. Тиховод С. М. Моделирование переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения / С.

М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 59-68.

34. Кулинич Э. М. Уточнение модели автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием технологического процесса приготовления газобетона / Э. М. Кулинич // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 69-76.

35. Волков В. А. Оценка возможности осуществления гидроаккумуляции на существующих гидроэлектростанциях днепровского каскада Украины / В. А. Волков // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 77-82.

36. Ярымбаш, Д.С. Особенности определения параметров электрической схемы замещения печной петли печи графитации переменного тока [Текст] / Д.С. Ярымбаш, И.М. Килимник, С.Т. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. №2. – С. 36 – 43.

37. Ярымбаш, Д.С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш, И.М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. – 2011. – №1. – С. 64 – 69.

38. Ярымбаш Д.С. Особенности измерения переменного тока в токопроводах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2005. - №1. – с. 74 – 76.

39. Ярымбаш, Д. С. Исследование электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах графитации переменного и постоянного тока / Д. С. Ярымбаш // Науковий вісник НГУ – 2015. – №3. – С.95–102.

40. Ярымбаш, Д.С. Повышение энергоэффективности бокового шинопакета печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш // Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність. – 2011, С. 229 – 233.

41. Ярымбаш, Д. С. Особенности моделирования электромагнитных процессов в индукторе калибра мундштука пресса / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник // Вісник кременчуцького державного політехнічного університету. – 2007. – №4 (45) Частина 1. – С. 53–55.

42. Ярымбаш, Д. С. Особливості розподілення магнітних потоків у режимі неробочого ходу силових трансформаторів / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 5-12.

43. Ярымбаш Д. С. Особливості визначення параметрів короткого замикання силових трансформаторів засобами польового моделювання /

Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 12-17.

44. Yarymbash D.S. On specific features of modeling electromagnetic field in the connection area of side busbar packages to graphitization furnace current leads / D.S.Yarymbash, A.M. Oleinikov // Russian Electrical Engineering, 2015, Vol.86, Issue 2, pp. 86 – 92.

45. Ярымбаш Д.С. Моделирование температурных режимов электротехнологической системы «индукторы - мундштук» на подготовительном этапе тура прессования / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // Електротехніка та електроенергетика. 2006. № 1. - С. 56-60.

46. Коцур М.И. Оценка теплового состояния изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором с модифицированной системой импульсного регулирования / М.И. Коцур, // Електротехніка та електроенергетика. – 2013 –№1 – С.31-36.

47. Коцур, М. И. Особенности ударного теплового воздействия на асинхронный двигатель с модифицированной системой импульсного регулирования в условиях частых пусков / М. И. Коцур, // Електротехніка та електроенергетика. – 2014 – №1 – С. 32 – 36.

48. Коцур М. И. Повышение эффективности режима торможения противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. В. Близняков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2015. – №1/8(73). – С.27-30.

49. Андриенко П.Д. Применение методов математического моделирования для определения параметров индуктора / П.Д. Андриенко, И.М. Коцур, Д.С. Ярымбаш // Вестник СевНТУ – Севастополь, 2008. – Вып. 88. – С. 117 – 120.

50. Коцур, М. И. Повышение эффективности электропривода вентиляторных установок / М. И. Коцур, И. М. Коцур, Н. С. Иваницкий, Д. А. Кравченко, В. Г. Савельев // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2017. №25(101) – С. 9 – 16.

51. Ярымбаш Д. С. Применение адаптированных схемных моделей для расчета токов короткой сети мощных электротехнических комплексов / Д. С. Ярымбаш // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. №2. – С. 72–76.

52. Kotsur, M.I. Converter for frequency-current slip-power recovery scheme / M.I. Kotsur, P.D. Andrienko, I. M. Kotsur, O.V Bliznyakov // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. - №4 – С. 49-54.

53. Ярымбаш, Д. С. Особенности трехмерного моделирования электромагнитных полей асинхронного двигателя / Д. С. Ярымбаш, М. И.

Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // Электротехніка та електроенергетика – 2016. – №2 – С. 43 – 50.

54. Ярымбаш Д.С. Особенности идентификации интенсивности солнечной радиации при проектировании солнечных электростанций / Д. С. Ярымбаш, Ю.В. Даус // Электротехніка та електроенергетика. - 2014 - № 1 - С. 74-78.

55. Yarymbash, D., Kotsur, M., Subbotin, S., Oliinyk, A. A New Simulation Approach of the Electromagnetic Fields in Electrical Machines. IEEE: The International Conference on Information and Digital Technologies, July 5th - 7th, Zilina, 2017, Catalog Number CFP17CDT-USB, pp. 452-457.

56. Ярымбаш, Д. С. Особенности определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя для режима короткого замыкания / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // Электротехніка та електроенергетика – 2017. – №1 – С. 24 – 30.

57. Дивчук, Т. Э. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Э. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, И. М. Коцур, Ю. С. Безверхняя // Электротехніка та електроенергетика. – 2017. – № 2. - С. 56-66.

58. Kotsur, M. A New Approach of the Induction Motor Parameters Determination in Short-Circuit Mode by 3D Electromagnetic Field Simulation [Text] / M. Kotsur, D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kotsur // International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF), October 17th - 20th, Lviv, Ukraine, 2017, pp. 207-210

59. Kotsur, M. I. Increasing of Thermal Reliability of a Regulated Induction Motor in Non-Standard Cycle Time Conditions [Text] / M. I. Kotsur, I.M. Kotsur, Yu. Bezverkhnia, D. Andrienko // IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017, pp. 88-91

60. Ярымбаш Д. С. Идентификация электрических параметров шихтованных шинных пакетов мощных коротких сетей / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // Электротехніка та електроенергетика. – 2012. – № 2. – С. 55 – 61.

61. Yarymbash D. Features of Defining Three-Phase Transformer No-Load Parameters by 3D Modeling Methods [Text] / D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk, D. Litvinov // IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017, pp. 132-135.

62. Kotsur, M. Speed Synchronization Methods of the Energy-Efficient Electric Drive System for Induction Motors / M. Kotsur, D. Yarymbash, I. Kotsur, Yu. Bezverkhnia // IEEE: 14th International Conference on

Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018.

63. Yarymbash, D. An Application of Scheme and Field Models for Simulation of Electromagnetic Processes of Power Transformers [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk // IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018.

64. Дивчук, Т.Е. Особенности определения параметров силовых трансформаторов методами схемно-полевого моделирования / Дивчук, Т.Е., Д. К. Мимоход, С. А. Кутилин, А. Е. Кузнецов, Ю. В. Гуразда, И. С. Сирых // Электротехника и электроэнергетика. – 2017. – № 1. – С. 61-70.

65. Ярымбаш, Д.С. Идентификация электрических параметров печной петли мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // «Электротехника и электромеханика». – 2012. №1. – С. 49 – 54.

66. Ярымбаш, Д.С. Особенности контроля электрических параметров, мощности и энергопотребления во время кампании графитации в печи переменного тока / Ярымбаш Д.С., Ярымбаш С.Т., Тютюнник О.В. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006, Вип. 3/2006(38), – С. 53 – 55.

67. Малюшевская А.П. Дослідження впливу підвищених температур на експлуатаційні властивості трансформаторного масла Т-1500 в плівкових ізоляційних системах / АП Малюшевская, АЯ Дмитришин, СО Топоров // Електротехніка та електроенергетика – 2015. - №1. – С. 21-25.

68. Верещаго Е.Н. Модель электрической дуги в MATLAB/SIMULINK / Е.Н. Верещаго, В.И. Костюченко // Электротехника та електроенергетика. – 2013. - №2. – С. 40-46.

69. Ярымбаш Д. С. Анализ энергоэффективности конструкции торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д. С. Ярымбаш, А. М. Олейников // Электротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 26-34.

70. Иванков В. Ф. Электротепловые расчетные модели элементов конструкции трансформаторного оборудования / В. Ф. Иванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // Электротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 41-53

71. Ярымбаш Д.С. Особенности расчета электродинамической стойкости шихтованных шинных пакетов короткой сети печи графитации / Д.С. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Механіка. Енергетика. Екологія. 2014. – С. 131 – 136.

72. Ярымбаш Д. С. Влияние расположения заготовок электродов на распределение удельной мощности в керне печи Ачесона / Д. С. Ярымбаш // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014. - № 1. - С. 5-11
73. Ivankov V. F. Calculation of CFD-thermal models of oil-cooled transformer equipment / V. F. Ivankov, A. V. Basova // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 2. - С. 19-32.
74. Ципленков Д. В. Методи та засоби зниження технічних втрат електроенергії в елементах систем електропостачання / Д. В. Ципленков, П. Ю. Красовський // *Електротехніка та електроенергетика*. 2015. № 1. С. 77–82.
75. Костін М. О. Енергетичні спектри випадкових процесів тягових напруг і струмів електротранспорту / М. О. Костін // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 2. - С. 71-80
76. Літвінов Д. О. Схемно-польове моделювання теплових процесів в асинхронних двигунах / Д. О. Літвінов, О. О. Шлянін, Т. В. Бондарчук, О. В. Стремідловська, Ріхам Матар // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 1. - С. 71-78
77. Остренко М. В. Расчет потерь в элементах конструкции силовых трансформаторов и реакторов методом конечных элементов с граничными условиями импедансного типа / М. В. Остренко, С. М. Тиховод // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2016. - № 2. - С. 33-42.
78. Курись Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. № 1. - С. 4–10.
79. Лебедев В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 11–16.
80. Волкова О. Г. Методика определения температуры поверхности силовоточных разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 17–20.
81. Мельников В. О. Компенсація впливу несиметрії обмоток стартера асинхронного двигуна у системах векторного керування / В. О. Мельников, А. П. Калінов, І. М. Кочуров // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 26–33.
82. Остренко В. С. Оцінка часу експлуатації IGBT4 модулів в режимі циклічного навантаження / В. С. Остренко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 34–38.

83. Курись Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. № 1. - С. 4–10.
84. Ярымбаш Д.С. Анализ энергоэффективности торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 23 – 30.
85. Лебедев В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 11–16.
86. Волкова О. Г. Методика определения температуры поверхности сильноточных разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 17–20.
87. Мельников В. О. Компенсація впливу несиметрії обмоток статора асинхронного двигуна у системах векторного керування / В. О. Мельников, А. П. Калінов, І. М. Кочуров // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 26–33.
88. Остренко В. С. Оцінка часу експлуатації IGBT4 модулів в режимі циклічного навантаження / В. С. Остренко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 34–38.
89. Тиховод С. М. Усовершенствование итерационных методов решения систем нелинейных уравнений / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 46–49.
90. Шкрабець Ф. П. Техніко-економічна оцінка оптимального рівня напруги для електроживлення робочих горизонтів глибоких шахт / Ф. П. Шкрабець, О. В. Остапчук, А. В. Кожевников, А. В. Акулов // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 50–54.
91. Волков В. А. Совершенствование частотного пуска гидроагрегата гидроаккумулирующей электростанции в насосном режиме / В. А. Волков, Д. В. Довбищук // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С.55–61.
92. Літвінов В. В. Удосконалення методу оцінювання надійності схем релейного захисту / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 62–69.
93. Дьяченко В. В. Формирование программы энергосбережения для систем электроснабжения / В. В. Дьяченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 70–76.
94. Тиховод С. М. Расчет переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения с использованием

полиномов Чебышёва / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 5-14.

95. Коваленко М. А. Автономний експериментальний стенд для випробування уніполярного крокового двигуна на базі мікроконтролера / М. А. Коваленко, Д. С. Мацюк // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 15-20.

96. Іванков В. Ф. Верифікація методів електротеплових розрахунків електричних реакторів без сталі / В. Ф. Іванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 26-34

97. Токмаков И. В. Моделирование электромеханических переходных процессов в асинхронных двигателях на основе использования полиномов чебышёва / И. В. Токмаков // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 35-41.

98. Сидорец В. Н. Особенности анализа распределения тока высокой частоты в осесимметричных электродах электрохирургических инструментов / В. Н. Сидорец, А. Г. Дубко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 42-47.

99. Тиховод С. М. Метод ускоренного численного расчета переходных процессов в электрических цепях на основе аппроксимации решения алгебраическими полиномами / С. М. Тиховод, Т. М. Корнус, Д. Г. Паталах // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 48-54.

100. Андриенко П.Д. Моделирование электромагнитных и тепловых процессов при индукционном нагреве мундштука пресса / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2008. – Вып. 92. – С. 163 – 167.

101. Ярымбаш Д.С. Особенности моделирования электромагнитного поля в зоне подключения боковых шинных пакетов к токоподводам печи графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Електротехніка. – М.: Знак. – №2. 2015. – С. 44 – 50.

102. Ярымбаш Д. С. Динамическая адаптация схемных моделей короткой сети / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 65-70.

103. Міщенко Т. М. Геометричне трактування реактивної потужності та його зв'язок зі спектральним складом тягових напруги та струму швидкісних електровозів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 81-86.

104. Скалько Ю. С. Удосконалення групового регулювання гідроагрегатів дніпровської гес за допомогою нечіткої логіки / Ю. С. Скалько // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 95-99.

105. Коцур М. И. Определение оптимальной частоты коммутации вентиля преобразователя по схеме частотно-токового асинхронно-вентильного каскада / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. А. Андриенко, Д. С. Андриенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1 - С. 5-11.

106. Малюшевська А. П. Вплив складу і морфології конденсаторних полімерних плівок на термостабільність їх короткочасної електричної міцності / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 18-24.

107. Цабенко М. В. Системи антипомпажного керування відцентровим компресором / М. В. Цабенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 35-41.

108. Слободенюк Ю. О. Модель розрахунку миттєвих параметрів режиму системи тягового електропостачання при русі електровозу / Ю. О. Слободенюк, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 42-48.

109. Ярымбаш Д.С. Особенности обработки данных регистрации электрических параметров электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2014. №2 – С. 59 – 65.

110. Ярымбаш Д. С. Оценка погрешности сенсоров тока автоматизированной системы управления технологическим процессом графитации / Д.С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – № 03(79) – 2011

111. Чередник Н. Г. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки при паралельній та автономній роботі з урахуванням явища насичення магнітної системи генератора / Н. Г. Чередник, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 49-56.

112. Ярымбаш Д.С. Идентификация параметров электродинамической стойкости короткой сети мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. Вип. 3/2012 (19). – С. 487 – 490

113. Власенко Р. В. Корекція алгоритму визначення заданого струму силового активного фільтра на основі теорії фрізе в умовах несиметрії / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 57-63.

114. Ярымбаш Д.С. Особенности оптимизации электрических режимов графитации / Д.С. Ярымбаш // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса, 2014. – №15 (91). – С. 215 – 219.

115. Малюшевська А. П. Вплив морфологічних особливостей конденсаторних полімерних плівок на їх деформаційні властивості / А. П. Малюшевська, Г. М. Ющишина // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 13-18.

116. Ярымбаш Д.С. Идентификация электрических параметров торцевых ошинок печей сопротивления прямого действия / Д.С. Ярымбаш, А. М.Олейников, С. Т.Ярымбаш, И.М. Килимник // Вестник НТУ «ХПИ», 2013. №36. –С. 466–470

117. Андрієнко П. Д. Дослідження динамічних режимів електродвигуна послідовного збудження з імпульсними схемами регулювання електроприводу / П. Д. Андрієнко, С. І. Шило, О. О. Каплієнко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 51-58.

118. Золотаревский А. И. Исследование спектральной зависимости диэлектрической проницаемости некоторых полярных диэлектриков в диапазоне низких частот / А. И. Золотаревский, С. П. Лушин // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 6-11.

119. Малюшевська А. П. Довготривала електрична міцність полімерних плівок під дією електричного поля / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров, В. І. Гунько // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 12-17.

120. Ярымбаш Д.С. Повышение эффективности использования фотопанелей на солнечных электростанциях / Д. С. Ярымбаш, Ю. В. Даус // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2015. - № 1. - С. 22-28

121. Ярымбаш Д.С. Исследование электромагнитных и электро-тепловых процессов в области торцевых шинных пакетов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. №11. – С. 60–68.

122. Качан Ю. Г. Застосування просторових електричних полів задля створення теплових перешкод у камерних печах / Ю. Г. Качан, А. А. Візер, А. В. Сибір // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 18-23.

123. Василенко О. В. Модель крокового двигуна для дослідження систем автоматичного позиціонування в ЕСАД / О. В. Василенко, Є .Л. Жавжаров // Електротехніка та електроенергетика. - 2017 - № 1 - С. 31-38.

124. Ярымбаш Д.С. Особенности распределения электрической мощности нагрева в керне печи графитации переменного тока / Д.С.

Ярымбаш, А.М. Олейников // Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2013. – вип.. 37. – С. 94 – 100

125. Дзензерский В. А. Разработка алгоритма автоматизированного контроля электрохимических накопителей энергии / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, В. В. Лисунова // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 39-47.

126. Ярымбаш Д.С. Идентификация температурных зависимостей удельных электрических сопротивлений керна в процессе графитации / Д.С. Ярымбаш // Електротехніка и електромеханика. – 2014. №2. – С. 66 – 70.

127. Алексеевский Д. Г. Определение рабочей области иппн в составе электромеханической системы взу с переменной скоростью вращения / Д. Г. Алексеевский, П. Д. Андриенко, К. О. Турышев, О. О. Панкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 79-85.

128. Ярымбаш Д.С. Особенности расчета токов короткого замыкания мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. - 2012. - № 1. - С. 23-30

129. Зиновкин В. В. Влияние нестационарных электромагнитных процессов на электромеханические параметры в синхронном электроприводе / В. В. Зиновкин, Н. Л. Антонов, Ю.А. Крисан // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 6-17.

130. Zirka S. E. Topological transient models of three-phase five-limb transformer / S. E. Zirka, Y. I. Moroz, C. M. Arturi, D. Bonnman // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 18-25.

131. Ярымбаш Д.С. Метод частотной адаптации уравнений Максвелла для переменного тока к рекуррентным уравнениям в формулировках для постоянного тока / Д.С. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Автоматизація процесів та управління. – Севастополь. 2014. – С. 203 – 206

132. Мацуй А. М. Теоретичне і експериментальне дослідження магнітоелектричної системи, що сприймає крупність пісків односпірального класифікатора / А. М. Мацуй, В. О. Кондратець // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 38-49.

133. Ярымбаш Д.С. Выбор критерия энергоэффективности боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність – 2012.

134. Паталах Д. Г. Численный безытерационный метод моделирования электромеханических процессов в асинхронных двигателях / Д. Г. Паталах, С. М. Тиховод, Т. М. Корнус // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 50-55.

135. Ярымбаш Д.С. Особенности идентификации электрических параметров контура печи графитации переменного тока методами полевого моделирования и оптимизации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // *Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. Вип. 15/2014. – Севастополь*. 2014. – С. 108 – 112.

136. Дивчук Т. Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Е. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, М. И. Коцур, Ю. Безверхняя // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 56-66.

137. Лаврич Ю. М. Методологічний підхід до побудови енергоощадної системи аварійного освітлення / Ю. М. Лаврич, Л. М. Погоріла, А. Ю. Подчасов // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 67-73.

138. Шутенко О. В. Анализ динамики изменения критериев, используемых для интерпретации результатов арг, в исправных высоковольтных трансформаторах негерметичного исполнения / О. В. Шутенко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 74-83.

139. Лобов В. Й. Управління газоповітряною енергетичною установкою промислового підприємства / В. Й. Лобов, К. В. Лобова, А. В. Даць // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 84-95.

140. Милых В. И. Анализ гармонического состава переменного магнитного поля, связанного с вращающимся ротором турбогенератора, в режимах холостого хода и короткого замыкания / В. И. Милых, Н. В. Полякова // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2013. - № 2. - С. 5-13.

141. Китаев А. В. Схемы замещения электрических машин / А. В. Китаев, В. Л. Агбомассу, В. И. Глухова // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2013. - № 2. - С. 14-26.

142. Верещаго Е. Н. Модель электрической дуги в MATLAB / SIMULINK / Е. Н. Верещаго, В. И. Костюченко // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2013. - № 2. - С. 40-46.

143. Ершов А. В. Влияние магнитного поля проводника на течение металла на торце проволоки в дуговом разряде / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2013. - № 2. - С. 62-65.

144. Пожуєв В. І. Визначення ефективності існуючих гідроенергетичних систем / В. І. Пожуєв, В. В. Радченко, Ф. П. Шкрабець, В. Г. Кучер, В. П. Кобець // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 71-76.

145. Олейников А.М. Математическая модель автономной безредукторной ветроэлектрической установки на генераторе с постоянными магнитами / А.М. Олейников, Л.Н. Канов, Ю.В. Матвеев, Е.И. Зарицкая // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – № 2. – С.62 – 67.

146. Гребеников В.В. Исследование влияния конфигурации магнитной системы на моментные характеристики электродвигателей с постоянными магнитами / В.В. Гребеников, М.В. Прымак // Електротехніка та електроенергетика. – 2009. - №2. - С. 57-60.

147. Дзензерский, В. А. Контроль состояния стартерных свинцовых аккумуляторов хронопотенциометрическим методом / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, И. И. Соколовский // Електротехніка та електроенергетика. - 2005. - № 1. - С. 13-18.

148. Дзензерский В. А. Принципы построения гибридных ветро-солнечных энергоустановок / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, Л. М. Погорелая и др. // Електротехніка та електроенергетика. - 2007. - № 1. - С. 67-72.

149. Тиховод С. М. Расчет переходных процессов электромагнитных устройств на основе магнитоэлектрических схем замещения с магнитными конденсаторами / С. М. Тиховод, И. В. Токмаков // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 1. - С. 5-13.

150. Павленко Т. П. Определения параметров состава композиции псевдожидкометаллических контактов по математической модели / Т. П. Павленко // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 1. - С. 14-18.

151. Швед Ю. С. Экспериментальные исследования и математическое моделирование асинхронного электропривода передвижения мостового крана / Ю. С. Швед, И. А. Орловский // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 1. - С. 18-27.

152. Спица А. Г. Эксплуатационные факторы, влияющие на работу систем непрерывного контроля изоляции трансформаторного оборудования / А. Г. Спица // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 1. - С. 41-47.

3 Милых В. И. Численно-полевой анализ режимов возбуждения и разных видов реакции якоря в мощном турбогенераторе / В. И. Милых, Н. В. Полякова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 1. - С. 61-69.

Додаток А

Зразок оформлення титульного аркуша до звіту з лабораторної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

Кафедра „Електричні машини”

Звіт з лабораторної роботи

На тему: _____

з дисципліни „ Електричні машини”

Виконав: студент групи _____ електротехнічного факультету

(прізвище, ім`я, по батькові студента, підпис, дата)

Прийняв: _____

(прізвище, ім`я, по батькові викладача, підпис, дата)