

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

## ВИПРОБУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Типова програма, методичні вказівки та контрольні завдання  
для студентів заочної форми навчання  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
освітньо-професійної програми «Електричні машини»

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою НТУ «ХПІ»,  
протокол № 3 від 10.10.2018

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2018

**Випробування та діагностика електричних машин:** Типова програма, методичні вказівки та контрольні завдання для студентів заочної форми навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електричні машини» / Уклад. В.П. Шайда, О.Ю. Юр'єва. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. - 24 с.

Укладачі:            В. П. ШАЙДА  
                              О. Ю. ЮР'ЄВА

Рецензент:           В. Ф. БОЛЮХ

Кафедра електричних машин

## ВСТУП

Електричні машини широко використовуються у всіх сферах промисловості, сільського господарства та побуті. Тому вони повинні забезпечувати надійну та безпечну роботу різноманітних механізмів.

Одним з найважливіших етапів виробництва електричних машин є їх випробування. Перевірка робочих властивостей машин на їх відповідність заданим вимогам, здійснюється шляхом випробувань, в процесі виготовлення і експлуатації електричних машин.

Дисципліна «Випробування та діагностика електричних машин» вивчає основні питання випробувань та технічної діагностики електричних машин при виробництві та в процесі експлуатації.

Основним завданням та метою викладання дисципліни є вивчення студентами методів випробувань різних типів електричних машин, а також основ теорії технічної діагностики, методів і засобів вимірювання параметрів електричних машин як в процесі виробництва, так і в процесі експлуатації.

Вивчення навчальної дисципліни базується на знаннях з вищої математики, фізики, теоретичних основ електротехніки, електричних машин, електроізоляційних матеріалів і метрології.

Це методичне видання містить в собі програму дисципліни «Випробування та діагностика електричних машин», контрольні запитання за розділами курсу, методичні вказівки для виконання контрольних завдань, а також перелік джерел інформації, необхідних для вивчення дисципліни.

## **1. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

За навчальним планом дисципліна «Випробування та діагностика електричних машин» вивчається в восьмому семестрі на четвертому курсі. Навчальним планом передбачено 4 кредити ECTS, що становить 120 годин загального обсягу, що складаються з 6 годин лекційних занять, 4 годин лабораторних занять, та 110 годин самостійної роботи для виконання контрольного завдання та підготовки до екзамену.

Відповідно логіки побудови дисципліна складається з двох частин – випробування електричних машин, на яку виділяється 7 тем, та діагностика електричних машин – 3 теми.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати: норми, методи та схеми випробувань і вимірювань параметрів електричних машин; принципи, методи та системи діагностування електричних машин. Уміти проводити випробування та вимірювання параметрів електричних машин та виконувати роботи з технічного діагностування стану електричних машин.

Вивчення дисципліни «Випробування та діагностика електричних машин» студентами заочної форми навчання відбувається під час самостійної роботи. Студент повинен скласти конспект за вивченим матеріалом та відповісти на контрольні запитання для самоперевірки. Після вивчення відповідних розділів дисципліни рекомендується виконувати контрольне завдання, яке складається з теоретичного питання та задачі.

## **2 ТИПОВА ПРОГРАМА ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

### **Тема 1. Загальні відомості про випробування електричних машин.**

Визначення, призначення та умови проведення промислових випробувань електричних машин. Задачі, що вирішуються при проведенні дослідницьких випробувань електричних машин. Основні державні стандарти, що використовуються при проведенні випробувань електричних машин. Види випробувань електричних машин: приймальні, приймально-здавальні, періодичні, типові та їх характеристика. Випробування електричних машин на надійність. Види перевірок, що входять до програми приймальних випробувань електричних машин.

### Контрольні запитання до теми 1

1. Дайте визначення випробувань електричних машин. З якою метою вони проводяться і коли?
2. Що необхідно знати і мати в розпорядженні для проведення випробувань електричних машин? Обґрунтуйте свою відповідь.
3. Перелічіть задачі, що вирішуються при проведенні дослідних випробувань ЕМ.
4. Назвіть види випробувань електричних машин. Чим вони відрізняються ?
5. Дайте характеристику приймальним випробуванням електричних машин.
6. Дайте характеристику приймально-здавальним випробуванням електричних машин.
7. Дайте характеристику періодичним випробуванням електричних машин.
8. Дайте характеристику типовим випробуванням електричних машин.
9. Що таке випробування електричних машин на надійність, чим вони відрізняються від інших випробувань ?
10. Наведіть види перевірок, які входять в програму приймальних випробувань електричних машин постійного і змінного струму.
11. Наведіть види перевірок, які входять в програму приймальних випробувань машини постійного струму, але не входять в програму для машин змінного струму.

### **Тема 2. Методи вимірювання обертальних моментів, частот обертання і ковзання при випробуваннях електричних машин.**

Методи вимірювання неелектричних величин. Основне рівняння руху електричних машин. Основні методи вимірювання обертальних моментів електричних двигунів: динамічного, статичного та сумарного моменту. Методи вимірювання частоти обертання електричних машин та їх характеристика. Методи вимірювання ковзання асинхронних двигунів.

### Контрольні запитання до теми 2

1. Які величини відносяться до неелектричних при випробуваннях електричних машин?
2. Які існують основні методи вимірювання обертальних моментів. Наведіть

основне рівняння руху.

3. Розкрийте сутність динамічного методу визначення обертальних моментів.
4. Розкрийте сутність статичного методу визначення обертальних моментів.
5. Розкрийте сутність методу сумарного моменту, який використовується для визначення обертальних моментів.
6. Які дві задачі вирішуються при вимірюванні обертового моменту
7. У яких випробуваннях електричних машин використовуються гальмівні пристрої. Назвіть основні типи гальмівних пристроїв.
8. Наведіть порядок визначення механічної характеристики при випробуваннях асинхронного двигуна.
9. Які методи визначення обертальних моментів використовуються для визначення механічної характеристики асинхронного двигуна ?
10. Назвіть методи вимірювання частоти обертання електричних машин. Поясніть їх сутність.
11. Поясніть застосування різних видів тахометрів при випробуваннях електричних машин малої потужності.
12. Охарактеризуйте методи вимірювання ковзання.

### **Тема 3. Визначення втрат потужності і ККД електричних машин.**

Основні положення. Складові втрат потужності електричних машин різних типів. Безпосередні методи визначення втрат потужності і ККД електричних машин: метод вимірювання механічної потужності, метод вимірювання електричної потужності та метод тарованої додаткової машини. Непрямі методи визначення втрат і ККД електричних машин: метод взаємного навантаження, динамометра і тарованого двигуна, не навантаженого двигуна.

#### Контрольні запитання до теми 3

1. Вимоги до електричних машин, що підлягає випробуванням для визначення втрат і ККД.
2. Перелічіть складові втрат потужності електричних машин різних типів.
3. Як визначаються додаткові втрати в електричних машин?
4. Дайте характеристику методу вимірювання механічної потужності, що

відноситься до безпосередніх методів визначення втрат і ККД електричних машин.

5. Дайте характеристику методу вимірювання електричної потужності, що відноситься до безпосередніх методів визначення втрат і ККД електричних машин.

6. Дайте характеристику методу тарованої додаткової машини, що стосується безпосередніх методів визначення втрат і ККД електричних машин.

7. Дайте характеристику методу взаємного навантаження.

8. Дайте характеристику методу динамометра і тарованого двигуна.

9. Дайте характеристику методу ненавантаженого двигуна.

10. Дайте порівняльну характеристику методам безпосереднього визначення втрат і ККД електричних машин.

11. Дайте порівняльну характеристику непрямим методам визначення втрат і ККД електричних машин.

#### **Тема 4. Випробування при підвищеній частоті обертання і короткочасному перевантаженні по струму**

Мета та порядок проведення випробувань електричних машин при підвищеній частоті обертання. Випробування електричних машин при короткочасному перевантаженні по струму.

Контрольні запитання до теми 4

1. Мета проведення випробувань електричних машин при підвищеній частоті обертання.

2. Які частини електричних машин підлягають ретельному огляду після проведення випробувань електричних машин при підвищеній частоті обертання ?

3. Мета проведення випробувань електричних машин при короткочасному перевантаженню по струму.

4. Для яких електричних машин найбільш небезпечне короткочасне перевантаження по струму?

#### **Тема 5. Випробування на нагрівання**

Мета та умови проведення випробування електричних машин на нагрівання.

Методи вимірювання температури окремих частин електричних машин: закладеними датчиками, термометром та методом опору. Безпосередні методи визначення нагріву електричних машин. Непрямі методи визначення нагріву електричних машин.

Контрольні запитання до теми 5

1. Наведіть мету та умови проведення випробування на нагрівання.
2. Охарактеризуйте методи вимірювання температури окремих частин електричних машин.
3. Охарактеризуйте методи вимірювання температури охолоджуючих і навколишніх середовищ.
4. Охарактеризуйте методи безпосереднього визначення нагріву електричних машин.
5. Охарактеризуйте методи непрямого визначення нагріву електричних машин.
6. В чому відмінність випробування трансформатора на нагрівання в порівнянні з аналогічними випробуваннями обертальних електричних машин?

### **Тема 6. Вимірювання електричного опору обмоток і ізоляції. Випробування електричної міцності ізоляції**

Технічні вимоги до процесу вимірювання електричного опору ізоляції та обмоток. Методи вимірювання електричного опору обмоток: вольтметра і амперметра, одинарного або двійного моста, омметра. Вимірювання електричного опору ізоляції обмоток відносно корпусу машини і між собою. Вимоги, що пред'являються до проведення випробувань електричної міцності ізоляції обмоток. Методика випробувань електричної міцності ізоляції обмоток відносно корпусу і між собою. Методика випробувань електричної міцності міжвиткової ізоляції.

Контрольні запитання до теми 6

1. Наведіть технічні вимоги до процесу вимірювання електричного опору ізоляції та обмоток.
2. Дайте характеристику методам вимірювання електричного опору обмоток.



3. Який з методів вимірювання електричного опору обмоток найбільш точний та зручний? Обґрунтуйте свою відповідь.

4. Наведіть та поясніть електричну схему для вимірювання електричного опору обмоток методом вольтметра і амперметра.

5. Вимірювання опору ізоляції обмоток відносно корпусу машини і між собою.

6. Наведіть вимоги, що висуваються до проведення випробувань електричної міцності ізоляції обмоток.

7. Поясніть методику випробувань електричної міцності ізоляції обмоток відносно корпусу і між собою.

8. Наведіть та поясніть електричну схему для випробувань електричної міцності ізоляції обмоток.

9. Методика випробувань електричної міцності міжвиткової ізоляції.

### **Тема 7. Вимір рівня шуму, вібрації і биття**

Апаратура, що використовується при вимірюванні шуму та вібрації електричних машин. Вимоги до рівня шуму і вібрацій електричних машин. Методи визначення рівня шуму електричних машин. Способи створення номінального навантаження при вимірюванні шумових характеристик електричних машин. Методи визначення рівня вібрацій електричних машин.

#### Контрольні запитання до теми 7

1. Яка апаратура використовується при вимірюванні шуму та вібрації електричних машин?

2. У чому сутність вимог за рівнем шуму і вібрацій, що висуваються до електричних машин.

3. Наведіть параметри вібрації, вимірювані в електричних машинах.

4. Наведіть частини електричних машин, на яких вимірюється биття. Як це здійснюється на практиці?

5. Охарактеризуйте методи визначення рівня шуму електричних машин.

6. Охарактеризуйте способи створення номінального навантаження при вимірюванні шумових характеристик електричних машин.

7. Охарактеризуйте методи визначення рівня вібрацій електричних машин.

## **Тема 8. Загальні відомості про діагностику електричних машин**

Основні поняття і визначення технічної діагностики. Завдання, що вирішуються за допомогою діагностики електричних машин. Системи діагностування та їх класифікація. Основні етапи розробки системи діагностування. Параметри діагностування електричних машин. Закономірності зношування і пошкодження деталей електричних машин. Дефекти і пошкодження, що найбільш часто виникають в електричних машин. Основні діагностичні параметри електричних машин.

Контрольні запитання до теми 8

1. Дайте визначення технічної діагностики та розкрийте її призначення.
2. Місце діагностики в експлуатації електричних машин.
3. Перелічіть завдання, що вирішуються за допомогою діагностики електричних машин.
4. У чому актуальність діагностики електричних машин?
5. Назвіть види відмов електричних машин, поясніть їх природу.
6. Назвіть основні етапи розробки системи діагностування.
7. Наведіть класифікацію систем діагностування.
8. Назвіть основні діагностичні параметри електричних машин.
9. Поясніть закономірності зношування і пошкодження деталей електричних машин.
10. Назвіть дефекти і пошкодження, що найбільш часто виникають в електричних машин.
11. Наведіть основні групи дефектів електричних машин, які впливають на їх вібрацію та температуру.

## **Тема 9. Діагностика ротора, лінії валу і підшипників**

Методи діагностики дефектів підшипників електричних машин: за величиною середньоквадратичного значення віброшвидкості, по спектру обвідної вібраційного сигналу, методом ПІК-фактору та по спектру вібросигналу. Визначення радіальних зазорів в електричних машин.

Контрольні запитання до теми 9

1. Які прилади застосовуються при діагностиці підшипників електричних

машин.

2. Дайте характеристику методу діагностики дефектів підшипників за величиною середньоквадратичного значення віброшвидкості.
3. Сутність діагностики дефектів підшипників по спектру обвідної вібраційного сигналу.
4. Сутність діагностики дефектів підшипників методом ПСК-фактору.
5. Сутність діагностики дефектів підшипників по спектру вібросигналу.
6. Спосіб визначення радіальних зазорів в електричних машин.
7. Перелічіть і порівняйте методи діагностики підшипників.

### **Тема 10. Діагностика електромагнітної системи.**

Основні дефекти електромагнітної системи електричних машин. Діагностика стану обмоток електричних машин.

Контрольні запитання до теми 10

1. Основні дефекти електромагнітної системи асинхронного двигуна.
2. Діагностика стану обмоток електричних машин.
3. Діагностика короткозамкнених обмоток ротора.
4. Методи діагностики ізоляції обмоток електричних машин.
5. Прилади діагностики стану обмоток електричних машин.
6. Визначення технічного стану колектора та контактних кілець.
7. Визначення технічного стану щіткового апарату.

### **З МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОГО ЗАВДАННЯ**

Контрольне завдання охоплює всі теми дисципліни та складається з теоретичного запитання та задачі, які потрібно виконати письмово.

Теоретичне запитання та задача вибирається у відповідності до варіанту. Номер варіанту видається студенту індивідуально на настановних заняттях під час сесії. Контрольне завдання зараховується після співбесіди з викладачем.

Під час виконання контрольного завдання рекомендується користуватися джерелами інформації [1–6] або іншими, знайденими самостійно, які обов'язково привести наприкінці контрольної роботи. Літерні позначення величин та одиниці

їх вимірювання повинні відповідати діючим стандартам [7].

Контрольне завдання повинно бути оформлене ручним або машинним способом у відповідності до вимог стандартів [8].

Додаткову інформацію щодо вивчення дисципліни «Випробування та діагностика електричних машин» можна отримати за посиланням [9].

## ТЕОРЕТИЧНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть методи визначення інерції обертальних частин електричних машин.
2. Опишіть порядок проведення перевірки стану обмоток і колектора до початку випробувань машини постійного струму.
3. Опишіть методи і порядок проведення діагностики підшипників електричних машин.
4. Опишіть порядок проведення перевірки коефіцієнта трансформації і груп з'єднання обмоток трансформатора.
5. Опишіть порядок проведення перевірки якості складання машини постійного струму і установки щіток в нейтральне положення.
6. Опишіть методи і порядок визначення максимального і мінімального обертаючих моментів асинхронного двигуна.
7. Опишіть процес визначення області безіскрової роботи в машині постійного струму.
8. Опишіть методи і порядок проведення випробування електричних машин на вплив механічних факторів.
9. Опишіть методи і порядок визначення пускових струмів і обертальних моментів синхронних двигунів.
10. Опишіть процес проведення перевірки комутації машини постійного струму при номінальному навантаженні і перевантаженню по струму. Які способи, крім візуального, використовуються для оцінки якості комутації?
11. Опишіть порядок діагностики колектора і контактних кілець.
12. Опишіть порядок визначення технічного стану магнітопроводу електричних машин при проведенні її капітального ремонту.
13. Опишіть порядок визначення струму збудження,  $U$ -подібної і регульовальної характеристик, а також спотворення синусоїдальної форми кривої напруги

при випробуванні синхронної машини.

14. Опишіть порядок визначення індуктивних опорів і постійних часу обмоток синхронних машин.

15. Опишіть порядок визначення струму і втрат потужності в ході проведення дослідів неробочого ходу і короткого замикання асинхронного двигуна.

16. Опишіть порядок визначення витрат охолоджуючого газу при випробуваннях синхронної машини великої потужності.

17. Опишіть методи і порядок випробування трансформаторного масла.

18. Дайте характеристику випробувань на надійність.

19. Опишіть порядок проведення перевірки установчих та приєднувальних розмірів електричних машин.

20. Опишіть порядок випробувань машини змінного струму після проведення капітального ремонту.

## ЗАДАЧІ

**Задача 1.** В ході випробувань трифазного асинхронного двигуна були виміряні: корисний обертальний момент, який дорівнює  $22,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , споживана потужність –  $2780 \text{ Вт}$ ; частота обертання ротора –  $935 \text{ об/хв}$ ; лінійна напруга мережі живлення  $380 \text{ В}$ ; струм мережі  $5,6 \text{ А}$ . Необхідно визначити ККД і коефіцієнт потужності двигуна по відношенню до мережі живлення.

**Задача 2.** У ході проведення дослідів короткого замикання трифазного асинхронного двигуна були отримані результати: при напрузі  $68 \text{ В}$  з мережі споживались струм  $8,3 \text{ А}$  та потужність  $310 \text{ Вт}$ . Необхідно визначити момент короткого замикання, кратності пускового струму та пускового моменту. Номінальна потужність двигуна становить  $3 \text{ кВт}$ , номінальна лінійна напруга –  $380 \text{ В}$ , номінальний струм –  $6,3 \text{ А}$ , номінальна частота обертання –  $2850 \text{ об/хв}$ .

**Задача 3.** Для трифазного асинхронного двигуна номінальною потужністю  $22 \text{ кВт}$  були проведені дослідів неробочого ходу та короткого замикання. Під час дослідів неробочого ходу при номінальній лінійній напрузі  $220 \text{ В}$  з мережі споживалась потужність  $705 \text{ Вт}$  та струм фазної обмотки статора  $19,5 \text{ А}$ . Під час дослідів короткого замикання при номінальному струмі  $47 \text{ А}$  з мережі споживалась потужність  $2145 \text{ Вт}$ . Визначити ККД асинхронного двигуна в номінальному режимі. Обмотку статора з'єднано за схемою  $Y$ , активний опір фазної обмотки статора

становить 0,14 Ом.

**Задача 4.** Трифазний асинхронний двигун має номінальні дані: потужність 7 кВт, лінійна напруга 380 В, струм обмотки статора 14 А, коефіцієнт потужності 0,9, частота обертання 2910 об/хв, фазні обмотки статора з'єднано за схемою Y. В результаті проведення випробувань двигуна були отримані значення: споживана потужність в режимі неробочого ходу 400 Вт, струм неробочого ходу 4 А, механічні втрати 170 Вт, активний опір фазної обмотки статора 0,58 Ом. Визначити всі види втрат двигуна в режимі номінального навантаження.

**Задача 5.** В електричне коло ротора чотирьополюсного асинхронного двигуна з фазним ротором підключений амперметр постійного струму, з нулем посередині шкали, а обмотка статора підключена до мережі змінного струму з частотою 50 Гц. Визначте величину ковзання і частоту обертання ротора, якщо стрілка амперметра за 30 с робить 60 повних коливань.

**Задача 6.** Визначити сумарні втрати потужності та ККД гідрогенератора за результатами випробувань: механічні втрати 88 кВт, магнітні втрати (з урахуванням додаткових) 138,5 кВт, електричні втрати (з урахуванням додаткових) 185 кВт, втрати на збудження 137 кВт. Номінальні дані гідрогенератора: повна потужність 26 МВ·А, коефіцієнт потужності 0,8.

**Задача 7.** Визначити ККД трифазного синхронного генератора за результатами випробувань: магнітні втрати (з урахуванням додаткових) 800 Вт, електричні втрати (з урахуванням додаткових) 1500 Вт, сума механічних втрат та втрат на збудження 1000 Вт. Номінальні дані генератора: фазна напруга 230В, фазний струм 54 А і коефіцієнт потужності 0,8.

**Задача 8.** Визначити ККД трифазного синхронного генератора, якщо він передає навантаженню повну потужність 25 МВт при фазній напрузі генератора 6060 В. Для розрахунків використовувати результати випробувань: активний опір фазної обмотки статора 0,005 Ом, механічні втрати 350 кВт, магнітні втрати 155 кВт, втрати на збудження 80 кВт.

**Задача 9.** Визначити підведену потужність і ККД трифазного синхронного генератора при номінальному навантаженні при номінальній фазній напрузі генератора 230 В, номінальному фазному струмі обмотки статора 60 А і номінальному коефіцієнті потужності 0,8. Для розрахунків використовувати результати випробувань: електричні втрати при номінальному струмі обмотки статора 1800 Вт, ме-

ханічні втрати 600 Вт, магнітні втрати 760 Вт, додаткові втрати враховано. Збудження синхронного генератора здійснюється від незалежного джерела.

**Задача 10.** Визначити ККД двигуна постійного струму незалежного збудження, споживану потужність і постійні втрати потужності в номінальному режимі. В результаті випробування двигуна в номінальному режимі були визначені: обертовий момент 1820 Н·м, частота обертання 455 об/хв, струм обмотки незалежного збудження 14,65 А та її активний опір в гарячому стані 14,6 Ом. Магнітні втрати становили 1240 Вт, механічні – 160 Вт, сума змінних страт – 9625 Вт.

**Задача 11.** В ході випробувань двигуна постійного струму паралельного збудження при номінальній напрузі 220 В та струмі обмотки збудження 1,3 А було виміряно крутний момент, який становив 38,5 Н·м. Визначити постійні втрати потужності двигуна. Номінальна частота обертання двигуна становить 1500 об/хв, номінальний ККД – 0,825. Активний опір кола обмотки якоря становить 0,58 Ом.

**Задача 12.** Визначити ЕРС неробочого ходу генератора незалежного збудження номінальною потужністю 80 кВт та номінальною напругою обмотки якоря 460 В. Активний опір обмотки якоря становить 0,11 Ом, падіння напруги на двох щітках – 1,25 В.

**Задача 13.** Визначити номінальний ККД генератора постійного струму паралельного збудження з номінальною потужністю 40 кВт, номінальною напругою 230 В при струмі збудження 3 А. При випробуваннях методом окремих втрат були визначені постійні втрати, які становили 2,5 кВт. При випробуваннях вимірювались активні опори обмоток: якоря – 0,026 Ом, додаткових полюсів – 0,012 Ом, збудження – 0,002 Ом. Падіння напруги на двох щітках прийняти таким, що дорівнює 1 В.

**Задача 14.** В ході випробувань тягового двигуна постійного струму, що має послідовне збудження, було визначено напругу живлення 250 В та струм в обмотці якоря – 204 А. Сумарний активний опір якірного кола в гарячому стані становить 0,078 Ом, електричні втрати в щітковому контакті 408 Вт і додаткові втрати 459 Вт. За результатами випробувань постійні втрати становили 2260 Вт. Визначити корисну потужність та ККД двигуна.

**Задача 15.** Визначити ККД двигуна постійного струму незалежного збудження з номінальними потужністю 90 кВт, напругою обмотки якоря 440 В, напругою обмотки збудження 220 В. При випробуваннях були визначені активні

опори обмоток в гарячому стані: кола обмотки якоря 0,049 Ом, додаткових полюсів – 0,024 Ом, збудження – 40 Ом. Електричні втрати в щітковому контакті становили 454 Вт, при цьому падіння напруги на двох щітках 2 В. Магнітні втрати становили 1390 Вт, механічні – 770 Вт.

**Задача 16.** При проведенні дослідів неробочого ходу і короткого замикання трансформатора потужністю 63 кВ·А втрати неробочого ходу склали 265 Вт, короткого замикання – 1280 Вт. Визначте ККД трансформатора в номінальному режимі при коефіцієнтах потужності 0,8 та 1,0.

**Задача 17.** Визначити зміну напруги трансформатора при номінальному навантаженні враховуючи, що коефіцієнт потужності дорівнює 0,8 та має індуктивний характер. З досліду короткого замикання трансформатора відомо, що напруга короткого замикання трансформатора становить 4,5 % та коефіцієнт потужності короткого замикання – 0,3.

**Задача 18.** За результатами випробувань трифазного трансформатора номінальною потужністю 25кВ·А, номінальною лінійною напругою 10/0,4 кВ втрати неробочого ходу становили 125 Вт. Активний опір обмотки вищої напруги становив 48,4 Ом, нижчої – 0,077 Ом. Визначте ККД трансформатора при номінальному навантаженні при коефіцієнті потужності 0,9. Схема з'єднання обмоток – Y/Y.

**Задача 19.** При проведенні дослідів неробочого ходу і короткого замикання трифазного трансформатора потужністю 630 кВ·А втрати неробочого ходу склали 1,42 кВт, короткого замикання – 7,6 кВт.

Визначити максимальний ККД трансформатора, для двох значень коефіцієнта потужності 0,8 та 1,0.

**Задача 20.** Визначити максимальний ККД трифазного трансформатора потужністю 630 кВ·А при коефіцієнті потужності 1,0, якщо магнітні втрати дорівнюють 1680 Вт, а максимум ККД настає при коефіцієнті навантаження 0,47.

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

При обробці результатів випробувань електричних машин використовуються загальні формули, відомі з курсу електричних машин.

ККД електричної машини визначається за загальною формулою як відношення корисної потужності  $P$  до підведеної  $P_{in}$ :



$$\eta = \frac{P}{P_{in}}.$$

В режимі двигуна підведеною потужністю є потужність, яку двигун споживає з мережі, корисною потужністю – потужність на валу. В режимі генератора навпаки – підведена потужність є потужністю на валу, корисною – потужність, що віддається до мережі.

Різниця між підведеною  $P_{in}$  та корисною  $P$  потужностями є втратами потужності електричної машини:

$$\Delta P = P_{in} - P.$$

ККД електричної машини надається через електричну потужність залежно від режиму роботи електричної машини:

- ККД двигуна

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P}{P_{in}};$$

- ККД генератора

$$\eta = \frac{P}{P + \Delta P}.$$

Втрати потужності електричної машини є сумою електричних  $P_{el}$ , магнітних  $P_{mag}$ , механічних  $P_{mec}$  та додаткових  $P_{ad}$  втрат:

$$\Delta P = P_{el} + P_{mag} + P_{mec} + P_{ad}.$$

Сума електричних  $P_{el}$  та додаткових  $P_{ad}$  втрат є змінними втратами потужності, вони змінюються при змінюванні струму обмотки статора (якоря),

$$P_{var} = P_{el} + P_{ad}.$$

Сума магнітних  $P_{mag}$  та механічних  $P_{mec}$  втрат є постійними втратами потужності, вони залишаються постійними при змінюванні струму обмотки статора (якоря),

$$P_{const} = P_{mag} + P_{mec}.$$

Винятком є машини постійного струму з незалежним збудженням, в яких втрати на збудження  $P_E$  додаються до постійних втрат  $P_{const}$ .

Додаткові втрати визначаються згідно зі стандартами у відсотках від номінальної потужності за окремим видами електричних машин: для асинхронних двигунів – 0,5 % від номінальної потужності

$$P_{ad} = 0,005P_N ;$$

для синхронних генераторів потужністю до 1000 кВт – 0,5 % від номінальної потужності

$$P_{ad} = 0,005P_N ;$$

для синхронних генераторів потужністю більше 1000 кВт – 0,4 % від номінальної потужності

$$P_{ad} = 0,004P_N ;$$

для машин постійного струму – 1 % від номінальної потужності

$$P_{ad} = 0,01P_N .$$

Електричні втрати асинхронної машини складаються з електричних втрат в обмотках статора  $P_{els}$  та ротора  $P_{elr}$ :

$$P_{el} = P_{els} + P_{elr} .$$

Електричні втрати синхронної машини складаються з електричних втрат в обмотці статора  $P_{els}$  та втрат на збудження (електричні втрати в обмотці збудження)  $P_E$ :

$$P_{el} = P_{els} + P_E .$$

Втрати на збудження  $P_E$  в синхронній машині великої потужності можуть не враховуватися при визначенні її ККД.

Електричні втрати машини постійного струму складаються з електричних втрат в обмотці якоря  $P_{ela}$ , втрат на збудження  $P_E$  та втрат в щітковому контакті  $P_{elb}$ :

$$P_{el} = P_{ela} + P_E + P_{elb} .$$

Електричні втрати в обмотці статора машини змінного струму

$$P_{els} = m_s \cdot I_{s\phi}^2 \cdot R_s ,$$

де  $m_s$  – кількість фаз обмотки статора;

$I_{s\phi}$  – струм фазної обмотки статора;

$R_s$  – активний опір фазної обмотки статора.

Електричні втрати в обмотці якоря машини постійного струму

$$P_{ela} = I_a^2 \cdot R_a ,$$

де  $I_a$  – струм кола обмотки якоря;

$R_a$  – активний опір кола обмотки якоря.

Втрати на збудження

$$P_E = I_E^2 \cdot R_E \text{ або } P_E = I_E \cdot U_E,$$

де  $I_E$  – струм обмотки збудження;

$R_E$  – активний опір обмотки збудження;

$U_E$  – напруга обмотки незалежного збудження.

Електричні втрати в обмотці ротора асинхронної машини можуть визначатися через електромагнітну потужність  $P_{em}$  та ковзання  $s$ :

$$P_{elr} = s \cdot P_{em}.$$

Електричні втрати в щітковому контакті визначаються добутком струму в колі обмотки якоря  $I_a$  та падіння напруги на двох щітках  $\Delta U_b$ ,

$$P_{elb} = I_a \cdot \Delta U_b.$$

Електромагнітна потужність

$$P_{em} = P_{in} - P_{els} - P_{mag} - P_{ad}.$$

Під час досліду неробочого ходу асинхронного двигуна з мережі споживається потужність, яка витрачається на покриття електричних втрат в обмотці статора  $P_{elso}$  для струму неробочого ходу  $I_{so}$ , магнітних втрат  $P_{mag}$ , механічних втрат  $P_{mec}$ :

$$P_o = P_{elso} + P_{mag} + P_{mec}.$$

Під час досліду короткого замикання асинхронного двигуна з мережі споживається потужність, яка витрачається на покриття електричних втрат  $P_{el}$  для струмів короткого замикання в обмотках статора та ротора.

Ковзання асинхронного двигуна пов'язує між собою синхронну частоту обертання  $n_s$  та частоту обертання ротора  $n$ :

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}.$$

Синхронна частота обертання є частотою обертання магнітного поля обмотки статора

$$n_s = \frac{60f}{p},$$

де  $f$  – частота мережі живлення;

$p$  – кількість пар полюсів обмотки статора електричної машини.

Ковзання асинхронного двигуна з фазним ротором може визначатися експериментально через кількість повних коливань стрілки амперметра постійного струму, ввімкненого до кола ротора,  $k_t$  за деякий час  $t$ :

$$s = \frac{k_t}{t \cdot f_s}.$$

Потужність на валу двигуна визначається через обертальний момент на валу  $M$  та кутову швидкість  $\Omega$  (рад/с):

$$P = M \cdot \Omega.$$

Кутова швидкість, виражена через частоту обертання ротора (якоря)  $n$  в обертах за хвилину (об/хв),

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}.$$

Електричний двигун постійного струму споживає з мережі потужність

$$P = U \cdot I,$$

де  $U$  – напруга мережі живлення;

$I$  – струм, що споживається з мережі живлення.

В машині постійного струму паралельного збудження напруга на обмотці якоря дорівнює напрузі на обмотці збудження та напрузі мережі:

$$U = U_a = U_E;$$

струм  $I$ , що споживається з мережі, складається зі струмів обмоток якоря  $I_a$  та збудження  $I_E$ :

$$I = I_a + I_E.$$

В машині постійного струму паралельного збудження струми обмоток якоря  $I_a$  та збудження  $I_E$  пов'язані з активними опорами відповідних обмоток  $R_a$  та  $R_E$  за правилом розкиду:

$$\frac{I_a}{I_E} = \frac{R_E}{R_a}.$$

Електричний двигун змінного струму (асинхронний або синхронний) споживає з мережі потужність

$$P = m_s \cdot U_{s\phi} \cdot I_{s\phi} \cdot \cos \phi \text{ або для трифазної мережі } P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s \cdot \cos \phi,$$

де  $U_{s\phi}$ ,  $U_s$  – фазна та лінійна напруга обмотки статора відповідно;

$I_{s\varphi}$ ,  $I_s$  – фазний та лінійний струм обмотки статора відповідно;

$\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності.

Повна потужність машини змінного струму

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}.$$

Фазна напруга обмотки статора  $U_{s\varphi}$  при з'єднанні фазних обмоток за схемою Y –  $U_{s\varphi} = \frac{U_s}{\sqrt{3}}$ , за схемою  $\Delta$  –  $U_{s\varphi} = U_s$ .

Фазний струм обмотки статора  $I_{s\varphi}$  при з'єднанні фазних обмоток за схемою Y –  $I_{s\varphi} = I_s$ , за схемою  $\Delta$  –  $I_{s\varphi} = \frac{I_s}{\sqrt{3}}$ .

Кратність пускового струму асинхронного двигуна є відношенням струму обмотки статора при пуску  $I_1$  до номінального  $I_N$ :

$$k_{I1} = \frac{I_1}{I_N}.$$

Струм обмотки статора асинхронного двигуна при пуску розраховується за струмом  $I_k$  та напругою  $U_k$ , виміряними при досліді короткого замикання при відомій номінальній напрузі  $U_N$ :

$$I_1 = I_k \cdot \frac{U_N}{U_k}.$$

Кратність пускового моменту асинхронного двигуна є відношенням пускового моменту  $M_1$  до номінального  $M_N$ :

$$k_{M1} = \frac{M_1}{M_N}.$$

Пусковий момент асинхронного двигуна розраховується за моментом  $M_k$  та напругою  $U_k$ , виміряними при досліді короткого замикання при відомій номінальній напрузі  $U_N$ :

$$M_1 = M_k \cdot \left( \frac{U_N}{U_k} \right)^2.$$

ЕРС неробочого ходу генератора постійного струму

$$E_o = U_N + I_{aN}R_a + \Delta U_b,$$

де  $U_N$  – номінальна напруга на обмотці якоря генератора;

$\Delta U_b$  – падіння напруги на двох щітках.

ККД трансформатора визначається через номінальну повну потужність  $S_N$  та коефіцієнт навантаження  $\beta_{Is}$  при відомих втратах неробочого ходу  $P_o$  та короткого замикання  $P_k$  для зазначеного коефіцієнту потужності  $\cos \varphi$ :

$$\eta = 1 - \frac{P_o + \beta_{Is}^2 \cdot P_k}{\beta_{Is} \cdot S_N \cdot \cos \varphi + P_o + \beta_{Is}^2 \cdot P_k}.$$

Максимального значення ККД трансформатора сягає при оптимальному коефіцієнті навантаження

$$\beta_{Is \text{ opt}} = \sqrt{\frac{P_o}{P_k}}.$$

Втрати неробочого ходу  $P_o$  визначаються магнітними втратами трансформатора. Втрати короткого замикання  $P_k$  складаються з електричних втрат в обмотках вищої та нижчої напруг відповідно,

$$P_{elp} = m \cdot I_{\phi h}^2 \cdot R_h;$$

$$P_{ell} = m \cdot I_{\phi l}^2 \cdot R_l,$$

де  $m$  – кількість фаз обмоток трансформатора;

$I_{\phi h}$ ,  $I_{\phi l}$  – фазні струми обмоток вищої та нижчої напруг відповідно;

$R_h$ ,  $R_l$  – активні опори фазних обмоток вищої та нижчої напруг відповідно.

Повна потужність трансформатора однакова для первинної та вторинної обмоток

$$S = m \cdot U_{\phi h} \cdot I_{\phi h} = m \cdot U_{\phi l} \cdot I_{\phi l},$$

де  $U_{\phi h}$ ,  $U_{\phi l}$  – фазні напруги обмоток вищої та нижчої напруг відповідно.

Зміна напруги трансформатора визначається через активну  $u_{ka}$  та реактивну  $u_{kr}$  складові напруги короткого замикання при відомому коефіцієнті навантаження  $\cos \varphi_{load}$ :

$$\Delta u = u_{ka} \cos \varphi_{load} + u_{kr} \sin \varphi_{load}.$$

Активна та реактивна складові напруги короткого замикання

$$u_{ka} = u_k \cos \varphi_k, \quad u_{kr} = u_k \sin \varphi_k,$$

де  $u_k$  – напруга короткого замикання трансформатора,

$\cos \varphi_k$  – коефіцієнт потужності короткого замикання трансформатора.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Гольдберг О. Д. Испытания электрических машин : учебник для вузов / О. Д. Гольдберг. – 2-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2000.
2. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – 4-е изд., сокр. и перераб. – Л. : Энергоатомиздат, 1984.
3. Осташевський М. О. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017.
4. Мілих В. І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: підручник / В. І. Мілих, О. О. Шавьолкін; за ред. В. І. Мілих. – К.: Каравела, 2018.
5. Таран В.П. Диагностирование электрооборудования / В. П. Таран. – К.: Техніка, 1983.
6. Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомоян Е.С. и др. Основы технической диагностики. – М.: Энергия, 1976.
7. Мілих В.І. Літерні позначення величин та параметрів електричних машин: методичні вказівки до використання в навчальному процесі кафедри «Електричні машини» для студентів і викладачів електротехнічних спеціальностей / Укладач В.І. Мілих. – Харків: НТУ «ХП», 2007.
8. СТВУЗ-ХП-3.01-2018. Оформление текстовых документов.
9. Домашня сторінка кафедри «Електричні машини» НТУ «ХП». –Режим доступу: <http://web.kpi.kharkov.ua/elmash/>.

Навчальне видання

## ВИПРОБУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

Типова програма, методичні вказівки та контрольні завдання  
для студентів заочної форми навчання  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
освітньо-професійної програми «Електричні машини»

Укладачі: ШАЙДА Віктор Петрович  
ЮР'ЄВА Олена Юріївна

Відповідальний за випуск Єгоров А.В.  
Роботу до друку рекомендував Міліх В.І  
В авторській редакції

План 2018 р. п. 345

Підписано до друку	. Формат 60x84 <sup>1/16</sup> .	Папір офсетний.
Друк – ризографія.	Гарнітура Times New Roman.	Ум. друк. арк. 0,7.
Обл.-вид. арк. 0,38.	Наклад – 50 прим. Зам. №	. Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП»

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

---

Друкарня НТУ "ХП", 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2