

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

С. О. КВІТКА, О. В. КОВАЛЬОВ

**ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ:
асинхронні і синхронні машини**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Мелітополь, 2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

С. О. КВІТКА, О. В. КОВАЛЬОВ

**ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ:
асинхронні і синхронні машини**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Рекомендовано Вченою радою факультету енергетики і комп'ютерних технологій Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного для підготовки фахівців зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» у вищих навчальних закладах II-IV рівнів акредитації

УДК 631.371:621.313 (076.5)

К 32

Дозвіл до впровадження та видання надано Вченою радою факультету енергетики і комп'ютерних технологій Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (протокол №10 від «28» травня 2020 р.)

Укладачі: **Квітка С.О.**, доцент Таврійського ДАТУ,
Ковальов О.В., старший викладач Таврійського ДАТУ

Рецензенти:

Тиховод С.М., д.т.н., доцент, завідувач кафедри теоретичної і загальної електротехніки Запорізького національного технічного університету

Назаренко І.П., д.т.н., професор кафедри електротехнологій і теплових процесів Таврійського державного агротехнологічного університету

Квітка С.О.

К 32 Електричні машини: асинхронні і синхронні машини. Лабораторний практикум/ С.О. Квітка, О.В. Ковальов. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. – 189 с.

ISBN 978-617-7218-72-1

Наведено теоретичний матеріал і лабораторні роботи з дослідження обертових електричних машин: асинхронних двигунів і генераторів, синхронних двигунів і генераторів. У додатках наведено технічні дані асинхронних двигунів сучасних серій.

Лабораторний практикум призначений для студентів зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» вищих навчальних закладів II-IV рівнів акредитації. Може бути корисним фахівцям, які працюють у галузі проектування, ремонту та експлуатації електричних машин.

ISBN 978-617-7218-72-1

© С.О. Квітка,
© О.В. Ковальов,
© Таврійський державний
агротехнологічний університет, 2020

ЗМІСТ

Передмова	4
Виконання розгорнутих схем трифазних обмоток змінного струму	6
Вивчення будови асинхронних машин з вимірюванням опорів обмоток статора	24
Дослід холостого ходу трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором	32
Дослід короткого замикання трифазного асинхронного двигуна з к.з. ротором	41
Дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в режимі навантаження	48
Дослідне визначення втрат та ККД трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором	57
Дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при живленні від однофазної мережі	69
Дослідження асинхронного генератора з короткозамкненим ротором	77
Вивчення будови синхронних машин з вимірюванням опору обмоток якоря та збудження	89
Дослідження автономного трифазного синхронного генератора	101
Дослідження трифазного синхронного генератора при паралельній роботі з мережею	115
Дослідне отримання U-подібних характеристик трифазного синхронного двигуна	127
Дослідження трифазного синхронного двигуна в режимі навантаження	137
ДОДАТОК А	144
ДОДАТОК Б	145
ДОДАТОК В	147
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	189

ПЕРЕДМОВА

Електричні машини – це основний елемент електроенергетичного устаткування і обладнання. Вони використовуються для виробництва електричної енергії (генератори), її перетворення з метою передачі і подальшого застосування (трансформатори) та приведення в дію робочих машин і механізмів (двигуни).

Електрична машина – невід’ємний елемент будь-якої енергетичної установки, тому для спеціалістів, що працюють в сфері виробництва або експлуатації електричних машин, необхідні знання не тільки теорії і розуміння фізичної сутності електромагнітних, механічних та теплових процесів, що протікають в електричних машинах. Не менш важливим є вміння розбиратися в різноманітних конструктивних формах та виконаннях електричних машин, навички розрахунку необхідної потужності і вибору типорозміру електричної машини з урахуванням її технічних даних і конструктивного виконання за ступенем захисту та способом охолодження, виду монтажу, а також кліматичних умов експлуатації.

Навчальна дисципліна «Електричні машини» відіграє важливу роль у загальній програмі підготовки фахівців зі спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» і передбачає вивчення призначення та будови обертових електричних машин змінного струму; основ теорії машин змінного струму; принципу дії та енергетики обертових електричних машин змінного струму; методик проведення досліджень і випробувань обертових електричних машин та визначення їх експлуатаційних якостей.

У даному практикуму наведено теоретичний і методичний матеріал з виконання лабораторних робіт з дослідження асинхронних і синхронних машин в різноманітних експлуатаційних режимах роботи.

Основними навчальними цілями і задачами лабораторних робіт є:

- Безпосереднє практичне вивчення конструкції, принципу дії та експлуатаційних властивостей електричних машин загального і спеціального призначення, а також знайомство з обладнанням, вимірювальними приладами і апаратурою, що використовується в лабораторії.

- Поглиблення і закріплення придбаних при вивченні курсу знань шляхом аналітичної і експериментальної перевірки основних положень теорії і практики дисципліни «Електричні машини».

- Практичне знайомство із сучасними методами та засобами випробування трансформаторів і обертових електричних машин.

- Освоєння на практиці існуючих методів розрахункового та дослідного визначення параметрів електричних машин, а також одержання дослідним шляхом статичних характеристик електричних машин, що визначають їх властивості в сталому режимі роботи.

- Придбання практичних навичок самостійної дослідницької роботи і освоєння методів обробки і аналізу експериментальних даних.

Мета та завдання окремих лабораторних робіт курсу визначені в кожній конкретній роботі. Найважливішою умовою ефективності лабораторних робіт за курсом є обов'язкова самопідготовка студентів до кожної роботи і ясне розуміння її цілі, змісту і методики виконання.

Автори мають надію, що наведений матеріал допоможе студентам краще засвоїти курс навчальної дисципліни «Електричні машини», набути практичних навичок з дослідження обертових електричних машин.

Лабораторна робота

ВИКОНАННЯ РОЗГОРНУТИХ СХЕМ ТРИФАЗНИХ ОБМОТОК ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи

Засвоєння будови трифазних обмоток машин змінного струму, алгоритмів та правил виконання і розрахунку розгорнутих схем різних типів обмоток.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Засвоїти принципи утворення трифазних обмоток машин змінного струму [1. с. 403-427, 2. с. 32-42, 3. с. 242-264]

1.2 Визначити основні розрахункові величини, що характеризують будову і тип обмоток [4. с. 16-44, 5. с. 159-162, 6. с. 122-129]

1.3 Виконати розгорнуту схему трифазної обмотки машини змінного струму [7. с. 94-147, 8. с. 46-92]

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

Обмоткою машини змінного струму називається розімкнена система провідників, що укладається в пази способом, який визначається типом обмотки, і з'єднана у фази.

Обмотки машин змінного струму класифікуються низкою ознак:

- за використанням – обмотки статора і ротора;
- за розташуванням в пазах – одношарові та двошарові;
- за формою секцій (катушок) – концентричні та рівносекційні;
- за формою лобових частин – двоплощинні, триплощинні та переплетені;
- за формою перерізу проводів – м'які (всіпні з круглого проводу) та жорсткі (з прямокутного проводу);
- за розташуванням виводів секцій (катушок) – петлеві і хвильові;

- за кроком обмотки – з діаметральним, скороченим і подовженим кроком;
- за числом пазів на полюс і фазу – скупчені і розподілені, з цілим і дробовим числом пазів;
- за способом укладання обмотки в пази – зі сторони циліндричної поверхні та з торця осердя;
- за видом ізоляції – з гільзовою та безперервною ізоляцією.

До обмоток машин змінного струму ставляться наступні вимоги:

- мінімальність витрат обмоткового матеріалу;
- зручність та найменші витрати при виготовленні – технологічність;
- надійність та довговічність при експлуатації;
- висока електрична, термічна та механічна міцність;
- конструкція обмотки повинна бути такою, щоб електричні втрати були мінімальними та забезпечувалася можливість кращого охолодження;
- форма кривої ЕРС, що створюється в обмотці, повинна бути близькою до синусоїдальної;
- вісі фазних обмоток повинні бути зсунуті у просторі магнітної системи на визначений просторовий кут (при трифазній системі струмів, кут повинен дорівнювати 120°);
- активні та індуктивні опори фазних обмоток повинні бути відповідно однаковими.

Найчастіше в машинах змінного струму застосовують наступні типи обмоток:

- одношарові концентричні;
- одношарові в «розвалку»;
- одношарові шаблонні;
- двошарові концентричні;
- двошарові петлеві рівносекційні;
- одно-двошарові концентричні.

Обмотки складаються з провідників, розташованих в пазах статора чи ротора. Провідники з'єднують між собою, при цьому

утворюється секція (котушка) обмотки. Секції (котушки), з'єднані за визначеною електричною схемою, утворюють обмотку. Частина секцій, що з'єднані послідовно і мають однаковий напрям струму, називаються секційною (котушковою) групою. Частина секцій, розташовані в пазах осердя статора чи ротора, називаються пазовими або активними, а розташовані поза пазом - лобовими.

Ширина секції визначається кроком обмотки y . Для того, щоб ЕРС провідників обох активних сторін секцій склалися, ширина секції повинна дорівнювати полюсній поділці τ , яка частіше визначається кількістю пазів або довжиною осердя статора або ротора

$$\tau = \frac{Z_1}{2p} = \frac{\pi D_1}{2p}, \quad (1)$$

де Z_1 – кількість пазів обмотки;
 D_1 – діаметр розточки осердя, м;
 $2p$ – кількість полюсів.

Якщо крок обмотки дорівнює полюсній поділці ($y=\tau$), то крок обмотки називається повним або діаметральним.

З метою покращення форми ЕРС (зменшення впливу гармонійних складових вищих порядків) та економії обмотувального проводу виконується скорочення обмотки, тобто зменшення кроку обмотки ($y<\tau$), при цьому крок обмотки розраховується наступним чином

$$y = \beta \cdot \tau, \quad (2)$$

де β – коефіцієнт скорочення кроку обмотки.

Як правило, з метою зменшення величини 5-ї та 7-ї гармонійної складової ЕРС, приймають значення коефіцієнту скорочення $\beta = 0,83$.

Число пазів на полюс і фазу q визначає кількість пазів статора, що приходяться на один полюс і фазу обмотки. Крім того, цей показник визначає кількість секцій в секційній групі

$$q = \frac{Z_1}{m_1 \cdot 2p}, \quad (3)$$

де m_1 – кількість фаз обмотки.

При $q=1$ – обмотка називається скупченою, $q>1$ – розподіленою. Як правило, при $q>3$ обмотка виконується в «розвалку».

Сторони секцій, що розташовані в сусідніх пазах і відносяться до однієї фази обмотки, визначають фазну зону обмотки, яка визначається електричним кутом α і вимірюється в електричних градусах (позначається «° ел.»)

$$\alpha = \frac{360 \cdot p \cdot q}{Z_1} = \frac{180}{m_1}, \quad (4)$$

де p – кількість пар полюсів обмотки.

Відстань між сторонами секцій в сусідніх пазах, виражена в «° ел.» визначається γ

$$\gamma = \frac{360 \cdot p}{Z_1}. \quad (5)$$

Як відомо, розподілення обмотки та скорочення кроку виконують з метою покращення форми ЕРС та МРС обмотки за рахунок зменшення впливу гармонійних складових вищих порядків (зокрема 5-го та 7-го порядків). Для оцінки впливу даних заходів на значення ЕРС та МРС обмотки використовують обмотковий коефіцієнт, який дорівнює

$$k_{обм.v} = k_{p.v} \cdot k_{ск.v} \cdot k_c, \quad (6)$$

де $k_{p.v}$ - коефіцієнт розподілення обмотки для v -ої гармонійної складової;

$k_{ск.v}$ - коефіцієнт скорочення кроку для v -ої гармонійної складової;

k_c - коефіцієнт скося пахів.

Коефіцієнтом розподілення обмотки називається відношення геометричної (векторної) суми МРС або ЕРС, що утворюються секціями обмотки, які розташовані у всіх пазах однієї фази, до їх алгебраїчної суми. Коефіцієнт розподілення обмотки для v -ої гармонійної складової МРС або ЕРС визначається наступним чином

$$k_{p.v} = \frac{\sin\left(\frac{\nu \cdot q \cdot \gamma}{2}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\nu \cdot \gamma}{2}\right)}, \quad (7)$$

де ν - номер гармонійної складової, для якої визначається $k_{p.v}$.

При розподіленні обмотки відбувається сильне зниження впливу вищих гармонійних складових 5-го та 7-го порядків. Однак, вплив інших гармонійних складових знижується несуттєво, тому одночасно з розподіленням використовують скорочення кроку обмотки, що дозволяє повністю компенсувати діє вищої гармонійної складової. для якої зсув по фазі $\nu \cdot \pi \cdot (1 - \beta) = \pi$. Коефіцієнт скорочення кроку обмотки визначається наступним чином

$$k_{ск.v} = \sin\left(\frac{\nu \cdot \beta \cdot \pi}{2}\right). \quad (8)$$

Секції в секційних групах та секційні групи між собою з'єднуються таким чином, щоб ЕРС сторін секцій складались. Секційні групи, що відносяться до однієї фази можуть бути з'єднані паралельно, або послідовно. Кількість паралельних з'єднань секційних груп визначає кількість паралельних гілок обмотки a .

На схемах обмотки зображують умовно розташування сторін секцій в пазах, з'єднання секцій в секційних групах, секційних груп і фаз обмоток. Схеми використовують при укладанні секцій, проведенні монтажу з'єднань. Найчастіше використовують розгорнуті схеми обмоток. в таких схемах для більш наглядного зображення обмотки поверхню статора або ротора разом з пазами розгортають в площині і всі з'єднання виконують у вигляді прямих ліній на площині креслення. Сторони секцій одношарових обмоток зображують у вигляді суцільних прямих ліній, сторони секцій двошарових обмоток – двома лініями, що розташовані поруч: суцільною – для сторони секції, що укладається в верхній шар паза, штриховою – для сторони секції, що укладається в нижній шар паза. Відповідно зображують лобові частини обмоток, з'єднання секцій і секційних груп між собою. На схему також на-

носять позначення полюсної поділки, напрям ЕРС або струмів в кожному пазу. Початок і кінець кожної фази позначається відповідно С1, С2, С3 та С4, С5, С6. Розподілення сторін секцій фаз обмотки визначається зіркою пазових ЕРС (рис. 1) у напрямку обертання ротора.

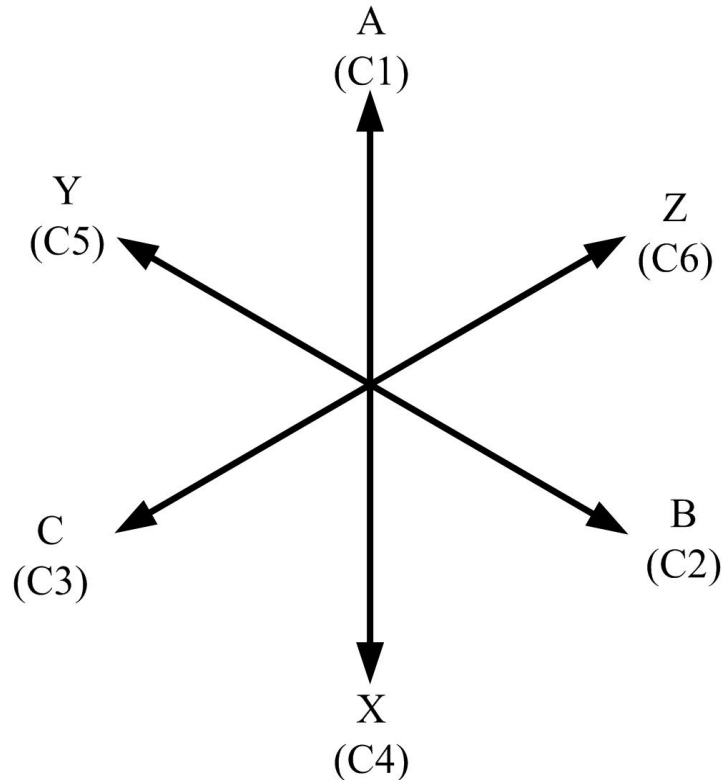


Рисунок 1 – Зірка пазових ЕРС трифазної обмотки

Таким чином, розподілення сторін секцій кожної фази по колу осердя має наступну послідовність (при обертанні ротора за годинниковою стрілкою): початок першої фази (А), кінець третьої фази (Z), початок другої фази (В), кінець першої фази (X), початок третьої фази (С), кінець другої фази (Y).

В якості вихідних даних для побудови розгорнутих схем обмоток використовуються: тип обмотки; - кількість фаз обмотки (m_1); кількість пазів обмотки (Z_1); кількість полюсів обмотки ($2p$); кількість паралельних гілок обмотки (a).

Грунтуючись на вихідних даних проводять розрахунки за рівняннями (1) – (8) для 1-ї, 5-ї та 7-ї гармонійних складових.

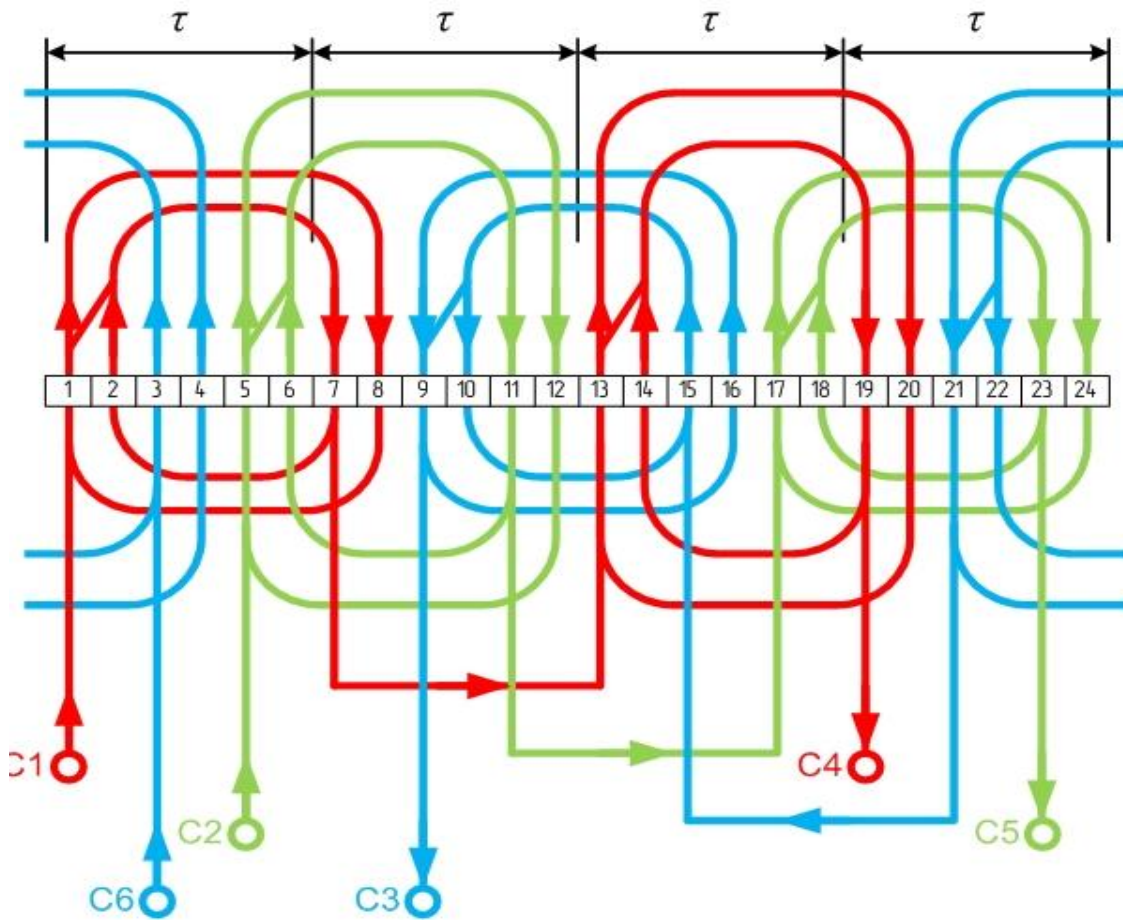


Рисунок 2 – Приклад розгорнутої схеми одношарової концентричної обмотки статора асинхронного електродвигуна ($Z_1 = 24, 2p=4, q_1=2$)

В машинах змінного струму дуже широко застосовуються одношарові обмотки внаслідок основної переваги – можливості застосування механізації виконання і укладання обмотки в пази осердя статора або ротора. Найчастіше застосовуються одношарові обмотки наступних типів: одношарові концентричні, одношарові концентричні в «розвалку», одношарові шаблонні.

3 Приклад виконання роботи

Завдання:

Для трифазної машини змінного струму з вказаними значеннями числа полюсів $2p$ та числа пазів Z_1 :

- визначити обмоточні дані для двошарової петлевої обмотки с укороченим кроком;
- скласти обмоткову таблицю;
- накреслити розгорнуту схему обмотки в кольоровому зображенні фаз;
- визначити графічним способом обмотковий коефіцієнт для 1-ї гармоніки ЕРС;
- визначити аналітичним способом обмоткові коефіцієнти для 1-ї, 5-ї та 7-ї гармонік ЕРС.

Вихідні дані: $z_1=24, 2p=4$.

Розв'язання:

3.1 Полісний розподіл

$$\tau_1 = \frac{Z_1}{2p}; \quad \tau_1 = \frac{24}{4} = 6, \text{ пазів.}$$

3.2 Крок обмотки

$$y_1 = (0,8 \div 0,86) \cdot \tau_1; \quad y_1 = (0,8 \div 0,86) \cdot 6 \approx 5, \text{ пазів.}$$

3.3 Число пазів на полюс та фазу (число котушок у котушковій групі)

$$q_1 = \frac{Z_1}{2p \cdot m_1}; \quad q_1 = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2.$$

3.4 Кількість котушкових груп в фазі

$$n_{\text{к.г.}} = 2p = 4.$$

3.5 Зсув початків котушкових груп в фазі

$$x_{\text{к.г.}} = \tau_1 = 6, \text{ пазів.}$$

3.6 Зсув початків фаз обмотки

$$x_{\text{ф.}} = \frac{2}{3} \tau_1; \quad x_{\text{ф.}} = \frac{2}{3} \cdot 6 = 4, \text{ пази.}$$

3.7 Обмоткова таблиця (рис. 3) будується з використанням попередніх розрахунків з використанням умовних позначень. Рекомендується робити це в наступній послідовності:

- визначити кількість котушок у фазі обмотки (в трифазній двошаровій обмотці ця кількість дорівнює $\frac{1}{3}Z_1$, у прикладі $\frac{1}{3} \cdot 24 = 8$);
- зобразити всі секції однієї фази;
- позначити верхній шар першої секції (1В);
- додавши до номера паза з верхнім шаром значення y_1 ($1+5=6$), позначити нижній шар першої секції (6Н);
- позначити верхній (2В) та нижній (7Н) шар другої секції ($2+5=7$);
- повторюючи дії останніх двох пунктів, побудувати q_1 секцій (котушок), з яких складається перша котушкова група (в прикладі $q_1=2$, тому кожна котушкова група складається з двох котушок: 1В-6Н та 2В-7Н; при інших вихідних даних ця кількість може бути більшою);
- зобразити з'єднання між секціями в межах котушкової групи;
- додавши до номера паза з верхнім шаром першої секції попередньої котушкової групи значення τ_1 ($1+6=7$), позначити верхній шар першої секції другої котушкової групи (7В);
- аналогічним шляхом виконати позначення всіх секцій фази;
- зобразити з'єднання між котушковими групами (групи з'єднуються послідовно-зустрічно, тобто кінець з кінцем або початок з початком);
- зобразити та позначити початок та кінець фази обмотки – початком є початок першої у фазі котушкової групи, а кінцем є початок останньої (у прикладі відповідно 1В та 19В) ;
- додавши до номера паза з початком першої фази величину $\frac{2}{3}\tau_1$ ($1+1+\frac{2}{3} \cdot 6=5$), визначити номер паза, в верхньому шарі якого починається друга фаза (5В);
- аналогічним шляхом побудувати та позначити секції другої, а в подальшому і третьої, фаз, зобразити усі з'єднання та виводи.

3.8 Розгорнута схема обмотки будується на основі обмоткової таблиці (рис. 3). Рекомендується робити це в наступній послідовності (рис. 4–7):

- розмітити та пронумерувати усі пази;
- відступивши приблизно $\frac{1}{2}$ пазового розподілу від першого та останнього пазів, провести вертикальні штрих-пунктирні лінії, що обмежують поле креслення та є лінією уявного розрізу обмотки;
- в першому пазу побудувати активну сторону верхнього шару;
- відступивши від цього пазу на відстань кроку y_1 ($1+5=6$), а також орієнтуючись на обмоткову таблицю, побудувати активну сторону нижнього шару;
- визначити середину відстані між пазами з активними сторонами секції (вісь секції), та побудувати лобові частини секції з обох сторін;
- зобразити виводи і таким чином отримати першу секцію (рис. 4);
- в поряд розташованих пазах побудувати інші секції котушкової групи та зобразити з'єднання між секціями (рис. 5);
- у відповідності до обмоткової таблиці побудувати інші котушкові групи фази, зобразити з'єднання між котушковими групами та виводи початку і кінця фази (рис. 6);
- аналогічним шляхом побудувати другу та третю фази, використовуючи для цього різні кольори (рис. 7).

3.9 Кут між променями зірки пазових ЕРС

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ}{Z_1} \cdot p; \quad \alpha_1 = \frac{360^\circ}{24} \cdot 2 = 30^\circ.$$

3.10 Зірка пазових ЕРС є векторною діаграмою ЕРС в активних провідниках обмотки. Для її побудовання достатньо $2\tau_1$ векторів (у прикладі $2 \cdot 6=12$). Оскільки вказані ЕРС мають однакову амплітуду та відрізняються лише фазою, рекомендується попередньо накреслити окружність, та зобразити вектори ЕРС як її радіуси під кутом α один до одного.

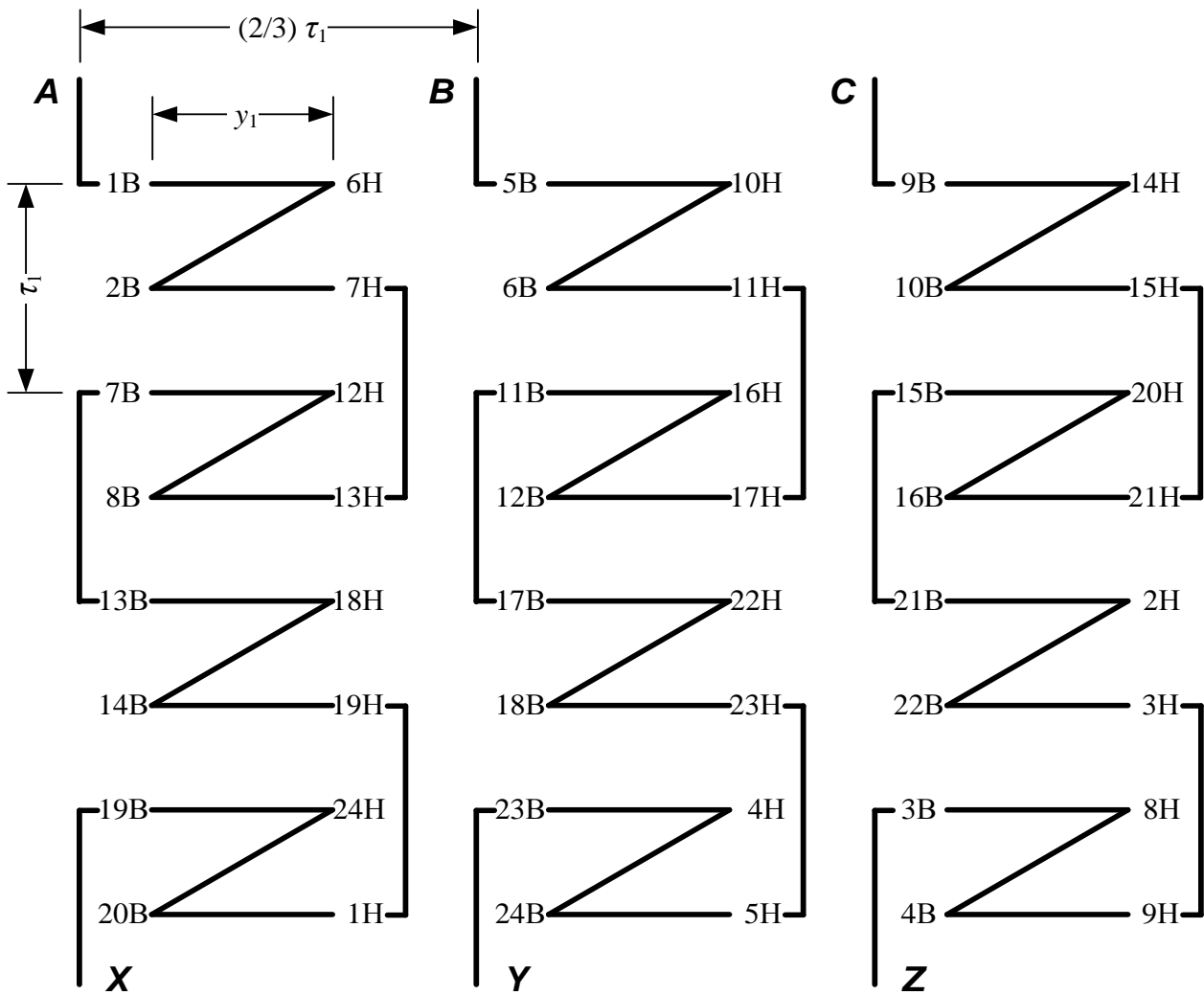


Рисунок 3 – Обмоткова таблиця простої петлевої двошарової обмотки, $Z_1=24$, $2p=4$

Для визначення коефіцієнта укорочення необхідно побудувати відрізок, який відповідає ЕРС витка з укороченим кроком. Цей відрізок знаходиться між точками з номерами пазів, в яких укладена перша секція обмотки (в прикладі – точки 1 та 6). На діаграмі ці точки позначені літерами А та В. ЕРС витка з діаметральним (повним) кроком відповідає діаметр окружності, тобто відрізок АС.

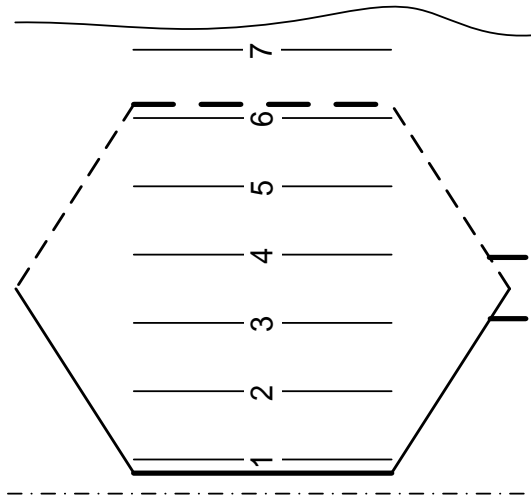


Рисунок 4 - Секція обмотки статора,

$y_1=5$

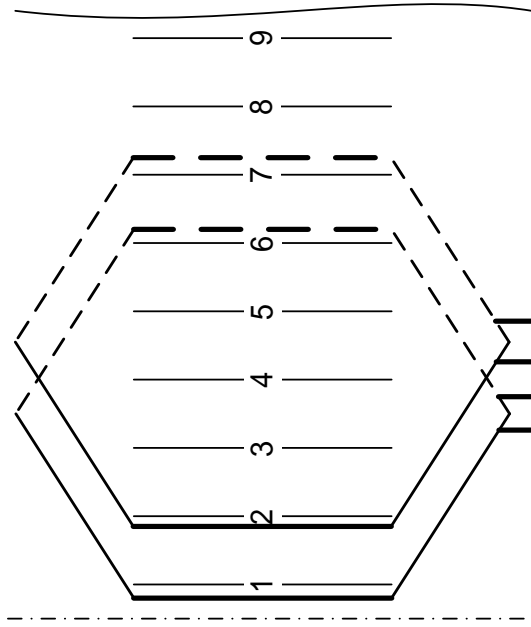


Рисунок 5 - Котушкова група обмотки

статора, $y_1=5, q_1=2$

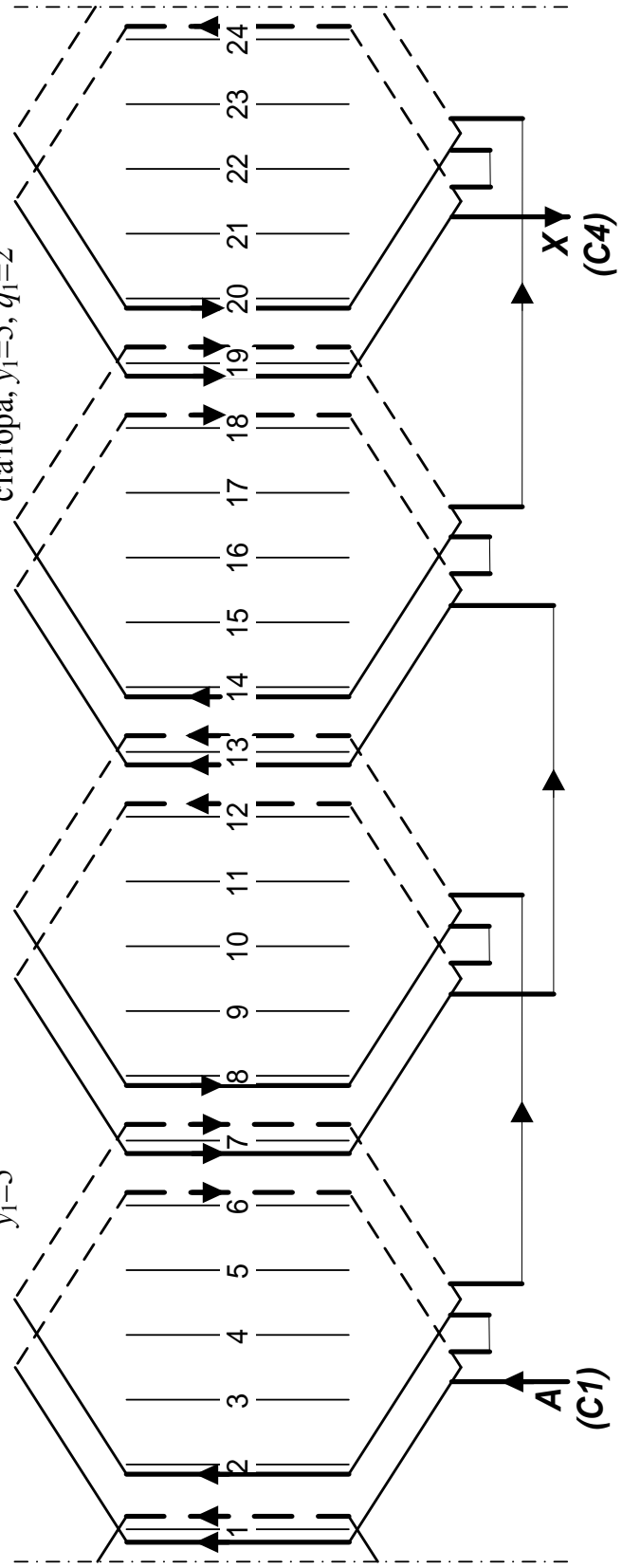


Рисунок 6 - Фаза трифазної лвошарової петлевої обмотки статора $Z_1=24, \nu_1=5, a_1=2$

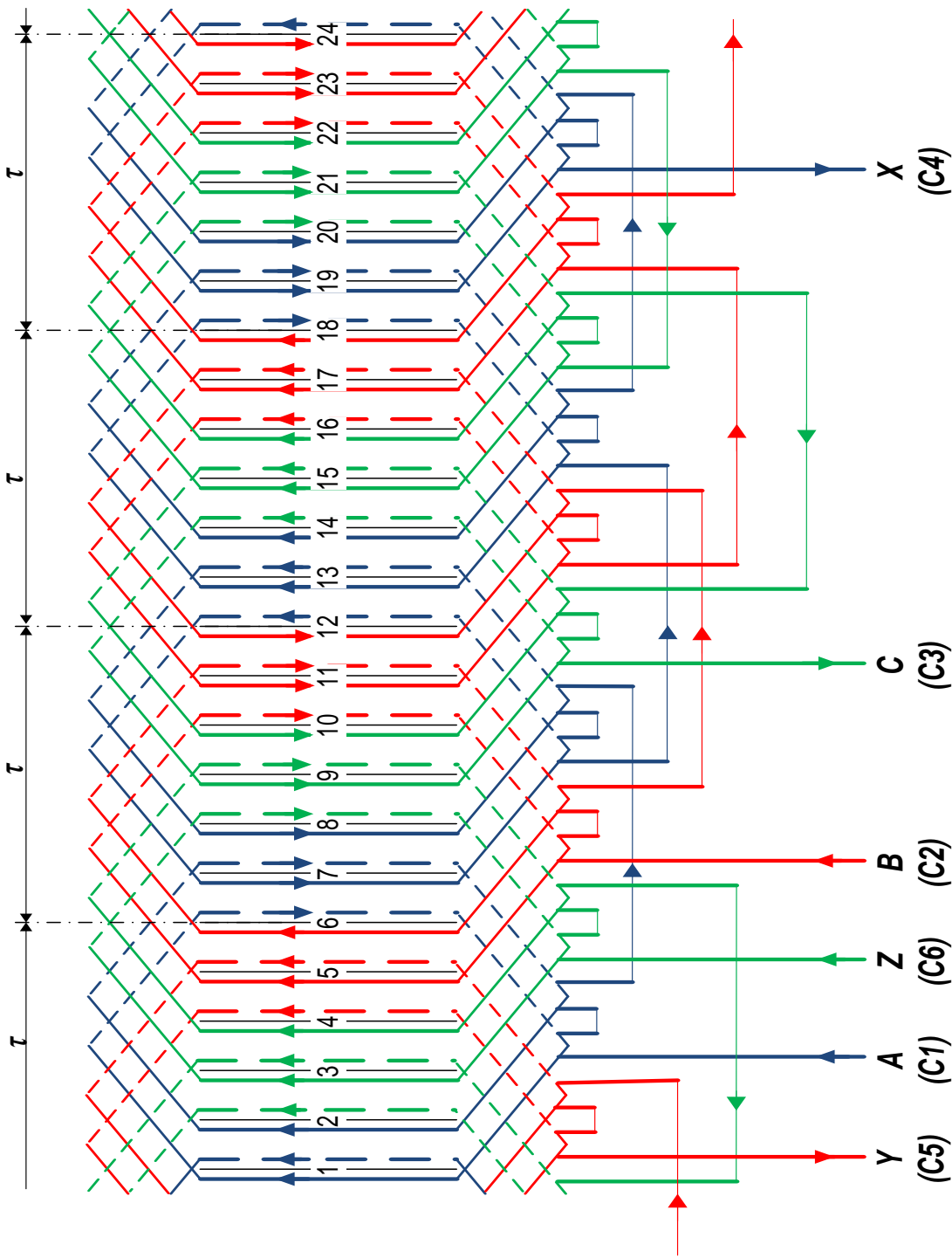


Рисунок 7 - Розгорнута схема трифазної двошарової петлевої обмотки статора, $Z_1=24$, $2p=4$, $q=2$, $a=1$

Таким чином, вимірявши довжину відрізків, слід визначити коефіцієнт укорочення по першій гармоніці як $k_{y1} = \frac{|AB|}{|AC|}$.

Для визначення коефіцієнта розподілу слід побудувати відрізок, який відповідає ЕРС котушкової групи. Цей відрізок є геометричною сумою відрізків ЕРС всіх секцій котушкової групи. Рекомендується робити це наступним чином:

- орієнтуючись на обмоткову таблицю та схему обмотки, зобразити відрізками ЕРС всіх секцій першої котушкової групи (в прикладі – 1-6 та 2-7);

- додати ці відрізки шляхом паралельного перенесення і отримати сумарний відрізок (у прикладі – відрізок AD).

Довжина відрізка AD таким чином є пропорційною ЕРС котушкової групи в розподіленій обмотці. В зосередженій обмотці котушкова група фактично є однією котушкою, яка вміщує всі витки групи, тому її ЕРС є добутком ЕРС однієї "маленької" секції на кількість секцій у групі, тобто q_1 (тобто алгебраїчною сумою ЕРС всіх секцій котушкової групи). Отже, коефіцієнт розподілу по першій гармоніці слід визначити як

$$k_{p1} = \frac{|AD|}{q \cdot |AB|}.$$

Обмотковий коефіцієнт визначається як добуток коефіцієнтів укорочення та розподілу

$$k_{об.1} = k_{y.1} \cdot k_{p.1}.$$

3.11 Визначення коефіцієнтів укорочення, розподілу та обмоткового коефіцієнта для 1-ї, 5-ї та 7-ї гармоніки аналітичним шляхом.

Попередньо слід визначити відносний крок

$$\beta_1 = \frac{y_1}{\tau_1}.$$

$$\beta_1 = \frac{5}{6} \approx 0,833.$$

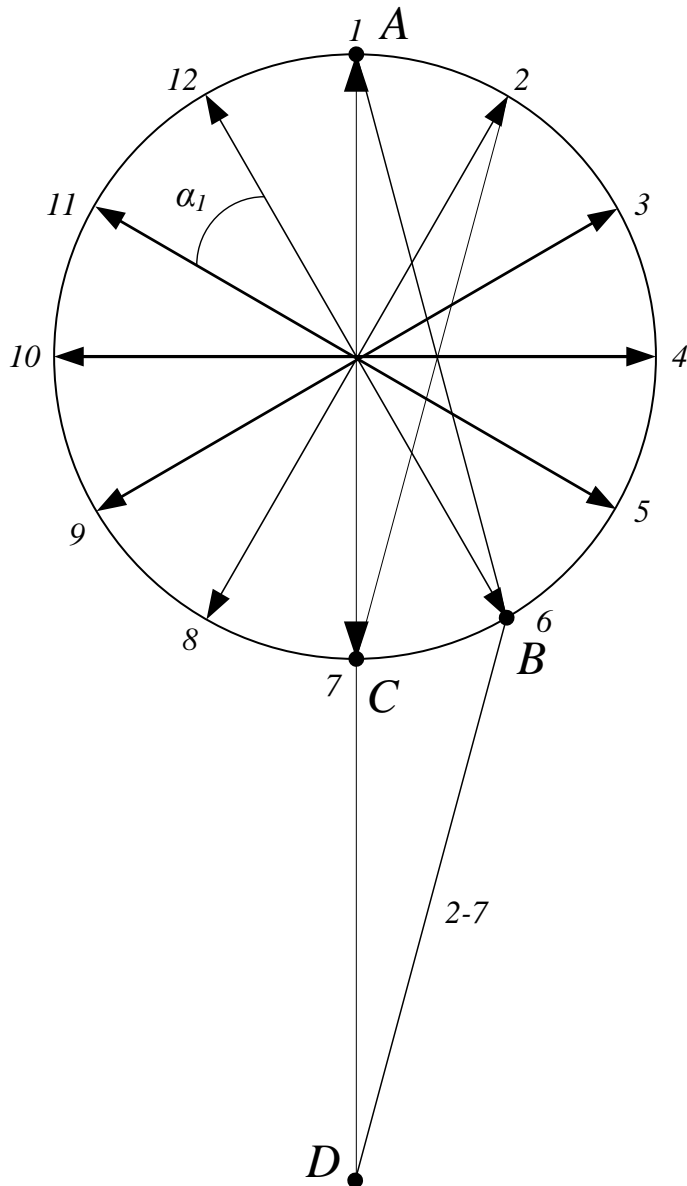


Рисунок 8 – Зірка пазових ЕРС та графічне визначення обмоткового коефіцієнта

По першій гармоніці ($\nu = 1$):

$$k_{y,1} = \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \beta_1 \cdot \nu\right);$$

$$k_{y,1} = \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot 0,833 \cdot 1\right) = 0,966.$$

$$k_{p.1} = \frac{\sin(q_1 \cdot \frac{\alpha_1}{2} \cdot \nu)}{q_1 \cdot \sin(\frac{\alpha_1}{2} \cdot \nu)};$$

$$k_{p.1} = \frac{\sin(2 \cdot \frac{30}{2} \cdot 1)}{2 \cdot \sin(\frac{30}{2} \cdot 1)} = 0,966.$$

$$k_{o\bar{o}.1} = k_{y.1} \cdot k_{p.1};$$

$$k_{o\bar{o}.1} = 0,966 \cdot 0,966 = 0,933.$$

По п'ятій гармоніці ($\nu = 5$):

$$k_{y.5} = \sin(\frac{\pi}{2} \cdot \beta_1 \cdot \nu).$$

$$k_{y.5} = \sin(\frac{\pi}{2} \cdot 0,833 \cdot 5) = 0,256.$$

$$k_{p.5} = \frac{\sin(q_1 \cdot \frac{\alpha_1}{2} \cdot \nu)}{q_1 \cdot \sin(\frac{\alpha_1}{2} \cdot \nu)}.$$

$$k_{p.5} = \frac{\sin(2 \cdot \frac{30}{2} \cdot 5)}{2 \cdot \sin(\frac{30}{2} \cdot 5)} = 0,259.$$

$$k_{o\bar{o}.5} = k_{y.5} \cdot k_{p.5}.$$

$$k_{o\bar{o}.5} = 0,256 \cdot 0,259 = 0,066.$$

По сьомій гармоніці ($\nu = 7$):

$$k_{y.7} = \sin(\frac{\pi}{2} \cdot \beta_1 \cdot \nu).$$

$$k_{y.7} = \sin(\frac{\pi}{2} \cdot 0,833 \cdot 7) = 0,262.$$

$$k_{p.7} = \frac{\sin(q_1 \cdot \frac{\alpha_1}{2} \cdot \nu)}{q_1 \cdot \sin(\frac{\alpha_1}{2} \cdot \nu)}$$

$$k_{p.7} = \frac{\sin(2 \cdot \frac{30}{2} \cdot 7)}{2 \cdot \sin(\frac{30}{2} \cdot 7)} = -0,259.$$

$$k_{об.1} = k_{y.1} \cdot k_{об.1}$$

$$k_{об.1} = 0,262 \cdot (-0,259) = -0,068.$$

Після обчислення вказаних коефіцієнтів слід порівняти результати аналітичного розрахунку по першій гармоніці з результатами графічного розрахунку – вони мають бути достатньо близькими (розходження до 5%).

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Приклад розгорнутої схеми одношарової концентричної обмотки статора асинхронного електродвигуна ($Z_1 = 24, 2p = 4, q=2$).

4.2 Приклад виконання роботи.

4.3 Розраховані обмоточні дані обмотки. Обмоткову таблицю. Розгорнуту схему обмотки в кольоровому зображенні фаз. (Згідно варіанту Додатку А).

4.4 Визначений графічним способом обмотковий коефіцієнт для 1-ї гармоніки ЕРС. (Згідно варіанту Додатку А).

4.5 Визначені аналітичним способом обмоткові коефіцієнти для 1-ї, 5-ї та 7-ї гармонік ЕРС. (Згідно варіанту Додатку А).

4.6 Аналіз отриманих результатів.

5 Контрольні питання

5.1 Які основні типи обмоток застосовуються в асинхронних електродвигунах серій 4АМ, АІР, 5А?

1.2 З яких основних елементів складається обмотка змінного струму?

1.3 Які обмотки змінного струму називають одношаровими та двошаровими?

1.4 Що означає і як визначається полюсний поділ машини змінного струму?

1.5 Що представляє собою та як визначається параметр q обмотки змінного струму?

1.6 Що значить і як визначається крок обмотки змінного струму?

1.7 Які обмотки змінного струму називають зосередженими і розподіленими?

1.8 У чому полягає фізичний смисл укорочення кроку обмоток змінного струму?

1.9 Що називають котушковою групою обмотки змінного струму?

1.10 Як визначаються електричні градуси машини змінного струму?

1.11 Коротко пояснити послідовність виконання розгорнутих схем обмоток змінного струму.

1.12 Як формуються паралельні гілки обмоток змінного струму?

1.13 За яким правилом визначається напрям струмів в фазах на розгорнутих схемах обмоток змінного струму?

1.14 Як на практиці визначаються полюсні поділки і число полюсів на розгорнутих схемах обмоток змінного струму?

1.15 Як за стандартом позначаються виводи трифазних обмоток статора машин змінного струму?

Лабораторна робота

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ АСИНХРОННИХ МАШИН З ВИМІРЮВАННЯМ ОПОРІВ ОБМОТОК СТАТОРА

Мета роботи

Засвоєння будови трифазних асинхронних машин змінного струму загальнопромислового виконання

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Засвоїти конструкцію трифазного асинхронного електродвигуна (АД) з короткозамкненим (к.з.) та фазним ротором. [1, с. 360; 3, 164-165]

1.2 Докладно опрацювати матеріал і знати: [1, с. 357-362; 3, 165-168]

- будову і матеріал виготовлення магнітопроводів статора та ротора АД;

- будову і матеріал виготовлення короткозамкненої та фазної обмоток ротора АД, а також способи виготовлення к.з. обмоток ротора АД;

- види і геометричну форму пазів статора і ротора АД;

- види пазової ізоляції одно- та двошарових обмоток статора АД;

- будову елементів конструкції і принцип роботи системи охолодження АД;

- призначення і будову контактних кілець та щіткового апарата АД з фазним ротором;

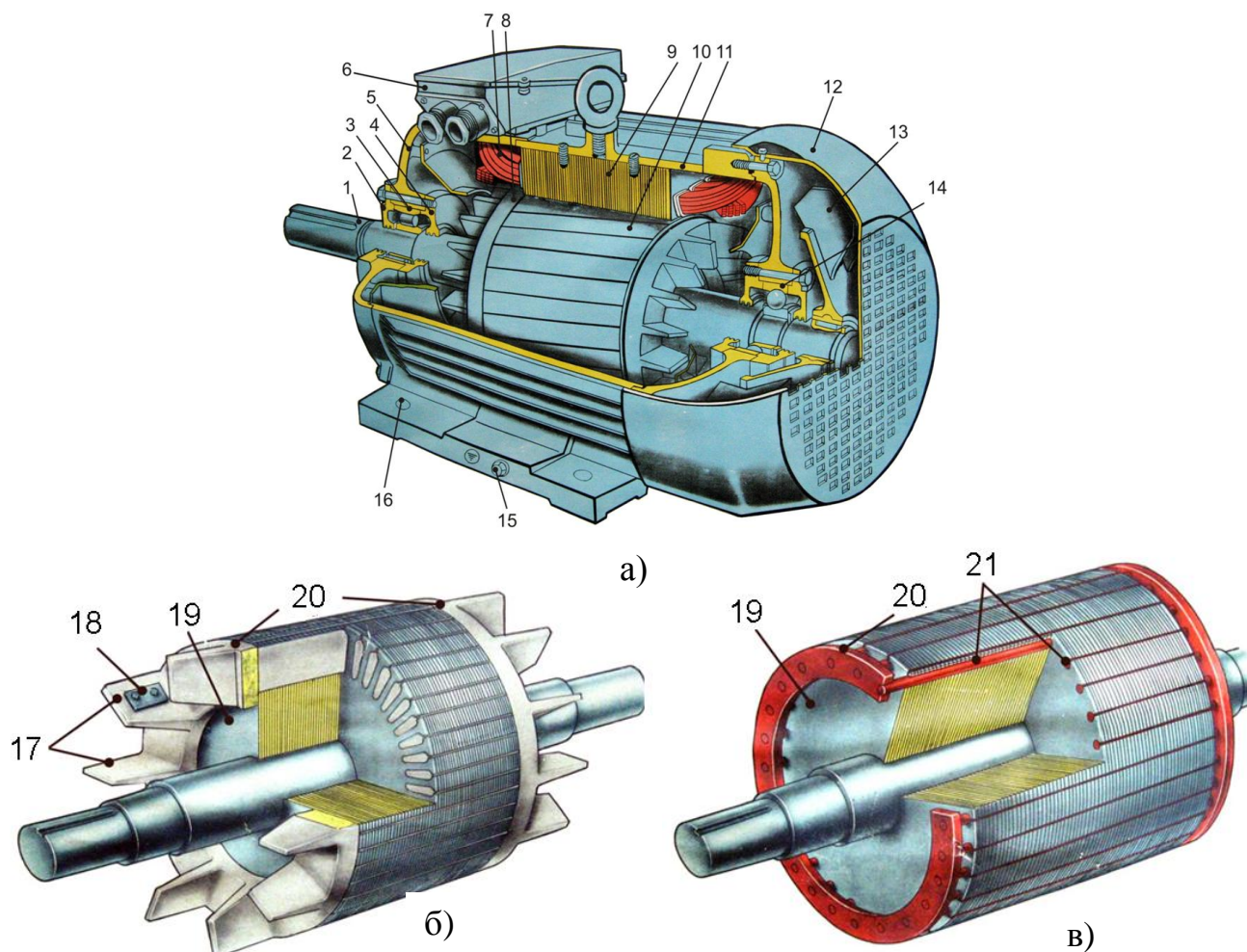
- приблизну величину повітряного зазору АД малої і середньої потужності;

- поняття висоти вісі обертання АД.

1.3 Ознайомитися із структурою умовного позначення типу АД серії АИР та 5А.

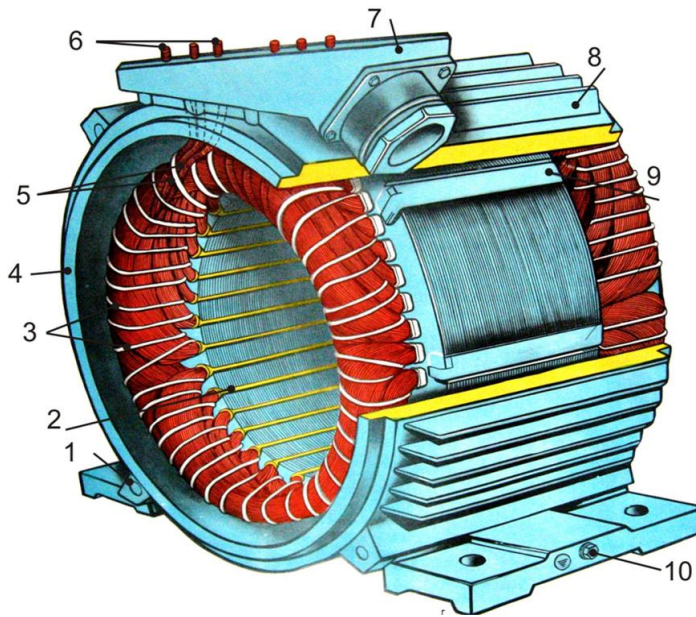
2 Основні теоретичні положення

Асинхронний двигун складається з нерухокої частини – статора і рухої – ротора (рис. 1, а). Статором є сталевий сердечник у вигляді порожнистого циліндра (рис. 2), що набирається з окремих листів електротехнічної сталі, ізолюваних між собою лаком.



1 – вал; 2 – зовнішня кришка підшипника; 3 – роликовий підшипник; 4 – внутрішня кришка підшипника; 5 – підшипниковий шит; 6 – коробка виволів; 7 – обмотка статора; 8 – обмотка ротора; 9 – осердя статора; 10 – осердя ротора; 11 – кожух електродвигуна; 12 – кожух вентилятора; 13 – вентилятор; 14 – шариковий підшипник; 15 – болт заземлення; 16 – отвори для болтів кріплення електродвигуна; 17 – вентиляційні лопатки; 18 – балансвальний тягар; 19 – осердя статора; 20 – короткозамикаючі кільця; 21 – стрижні в пазах.

Рисунки 1 – Асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором (а) та короткозамкнений ротор з литою (б) і звареною (в) білячою кліткою



- 1 – отвори для кріплення підшипникових щитів; 2 – клинова кришка для обмотки в пазу; 3 – бандаж кріплення лобової частини обмоток;
- 4 – корпус; 5 – вивідні кінці; 6 – контактні болти коробки виводів; 7 – корпус коробки виводів; 8 – оребріння охолодження;
- 9 – скоби кріплення осердя; 10 – болт заземлення.

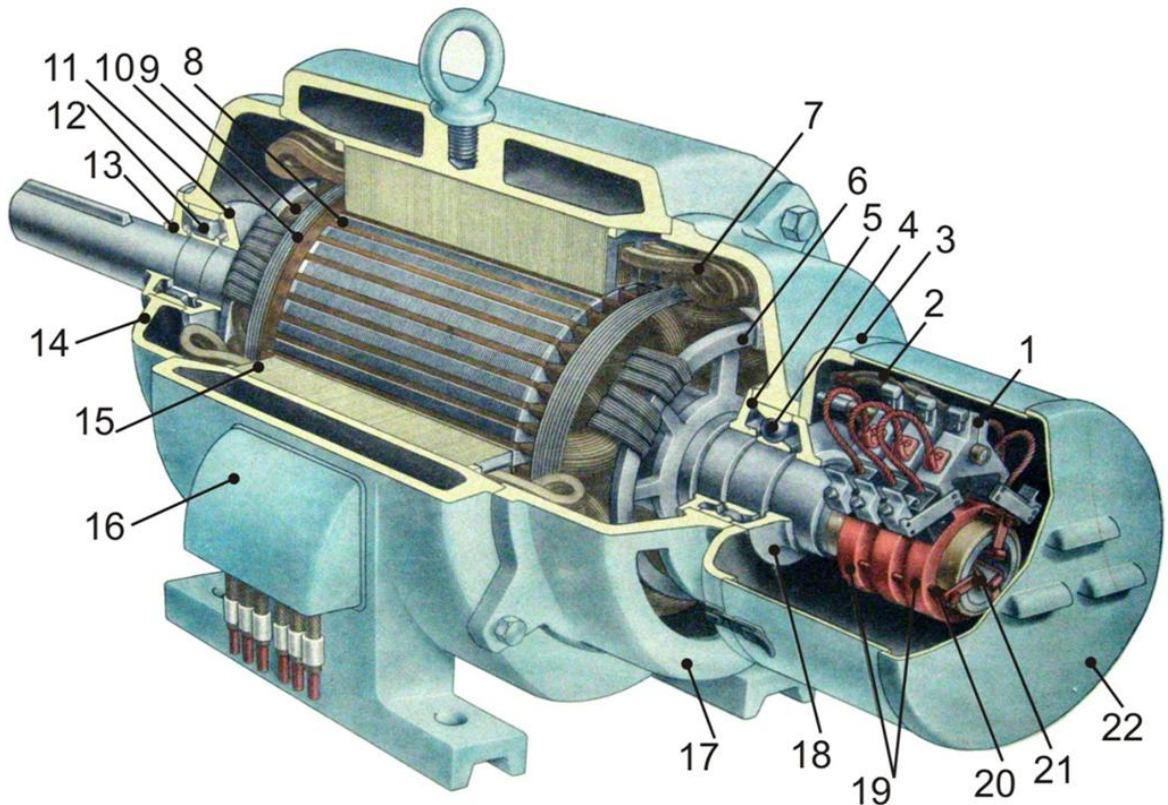
Рисунок 2 – Статор асинхронного електродвигуна

Усередині циліндра виштампувані пази, куди укладають обмотку статора. За будовою статор асинхронної машини майже нічим не відрізняється від статора синхронної машини.

Усередині статора поміщається ротор, що є сталевим циліндром, який набирають з окремих листів електротехнічної сталі, покритих ізоляційним лаком. Ротори бувають двох типів: короткозамкнені і фазні. У пази короткозамкненого ротора двигунів потужністю більше 100 кВт укладають обмотку у вигляді білячої клітки, що виконується з мідних стрижнів, яку з торцевих сторін замикають кільцями (рис. 1, в). У двигунах потужністю до 100 кВт білячу клітку виготовляють шляхом заливки пазів ротора алюмінієм під тиском (рис. 1, б). Білячу клітку від сталі ротора не ізолюють, оскільки провідність провідників обмотки в десятки разів більше провідності сталі. При відливанні білячої клітки з алюмінію одночасно відливають і бічні кільця разом з вентиляційними лопатками.

У пази фазного ротора укладають трифазну обмотку, що виконується за типом обмотки статора. Конструктивна схема двигуна з фазним ротором представлений на рисунку 3. Як правило, фазну обмотку ротора з'єднують в зірку. При цьому кінці обмотки сполучають разом, а початки приєднують до контактних

кілець, на які встановлюють щітки, сполучені з пусковим реостатом.



1 – щіточна траверса; 2 – виводи від щіток; 3 – фланець з щіточним пристроєм; 4 – шарикопідшипник; 5 – внутрішня кришка підшипника; 6 – обмоткоутримувач; 7 – обмотка статора; 8 – осердя ротора; 9 – обмотка ротора; 10 – бандаж; 11 – внутрішня кришка підшипника; 12 – роликовий підшипник; 13 – зовнішня кришка підшипника; 14 – передній підшипниковий щит; 15 – статор; 16 – коробка з виводами; 17 – задній підшипниковий щит; 18 – зовнішня підшипникова кришка; 19 – контактні кільця; 20 – контактні стрижні; 21 – виводи обмотки ротора; 22 – кожух.

Рисунок 3 – Асинхронний двигун з фазним ротором

Виводи обмоток асинхронних двигунів позначають наступним чином:

	початки	кінці
Перша фаза	C1 (U1)	C4 (U2)
Друга фаза	C2 (V1)	C5 (V2)
Третя фаза	C3 (W1)	C6 (W2)

Обмотки двигуна можуть бути з'єднані в зірку або в трикутник. Для зручності з'єднання обмоток в трикутник виводи обмоток приєднані до клемної колодки за схемою, що наведена на рисунку 4.

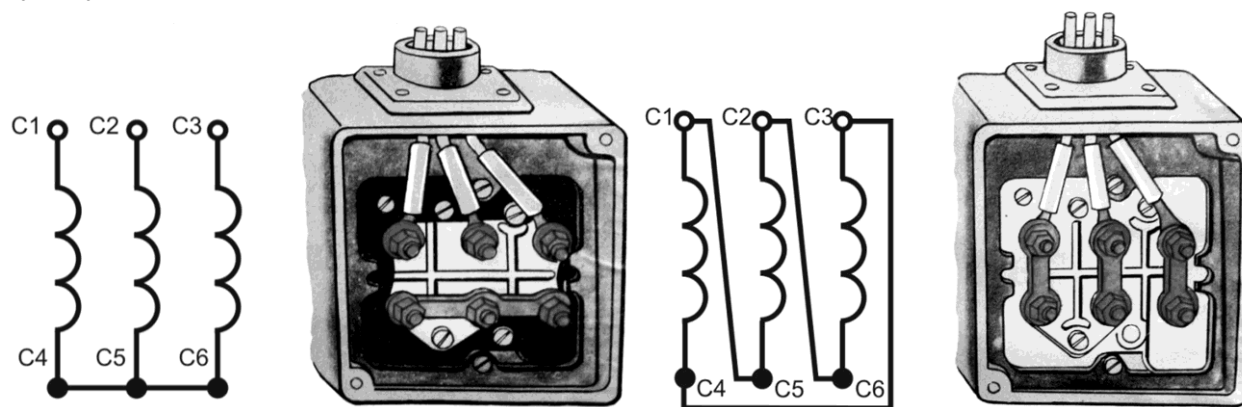


Рисунок 4 – Схеми з'єднань обмоток статора асинхронних двигунів: а) – з'єднання обмоток у зірку; б) – з'єднання обмоток у трикутник.

Якщо на паспорті двигуна написано 220/380 В і стоїть позначення Δ/Y , то це означає, що при лінійній напрузі в мережі 220 В обмотки потрібно з'єднати в трикутник, а при лінійній напрузі 380 В – в зірку. Виводи обмоток ротора позначають буквами P1, P2, P3.

Асинхронний трифазний двигун – найпоширеніший в промисловості і сільському господарстві. Близько 80% всіх двигунів – асинхронні.

Промисловістю випускають АД серії АИР, 5А, 6А та ін., наступних виконань: основного або базового, з підвищеним пусковим моментом, з підвищеним ковзанням, багатошвидкісні, з фазним ротором, з вбудованим температурним захистом, сільськогосподарського призначення, хімістійкого, вологоморозостійкого, пилезахищеного та іншого.

Ряд номінальних потужностей АД за стандартом: 0,06; 0,09; 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 90; 110; 132; 160; 200; 250; 280; 315; 355 та 400 кВт.

Ряд стандартних висот осей обертання АД: 50; 55; 63; 71; 80; 90; 100; 112; 132; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 315; 355 та 400 мм.

В таблиці 1 наведені номінальні напруги та схеми з'єднання статорних обмоток асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором.

Таблиця 1 – Номінальні напруги та схеми з'єднання обмоток АД

$P_{н}$, кВт	$U_{н}$, В	Схема обмоток	Число фаз
0,06 – 0,37	220, 380	Δ, Y	3
0,55 – 11	220, 380, 660	Δ, Y, Y	3
15 – 110	220/380	Δ/Y	6
	380/660	Δ/Y	6
132 – 400	380/660	Δ/Y	6

Марки електротехнічних сталей (ЕТС), що використовуються для виготовлення осердь статора та ротора АД: 2011; 2012; 2013; 2111; 2112; 2211; 2212; 2312; 2321; 2411; 2412; 2421, при товщині листів ЕТС: 0,28; 0,30 та 0,35 мм.

Приблизна величина повітряного зазору АД серії АИР, 5А та 6А:

- у АД с $H \leq 160$ мм, $\delta = 0,2 - 0,35$ мм;
- у АД с $H \geq 180$ мм, $\delta = 0,4 - 1,0$ мм.

Клас нагрівостійкості ізоляції та марки обмотувальних проводів АД:

– АД з $H \leq 132$ мм має клас ізоляції «В», тривало допустиму температуру $t_{д.д.} = 130^0$ С, розрахункову температуру $t_{розр.} = 75^0$ С; марки обмотувальних проводів: ПЭТВ-2; ПЭТМ; ПЭТВ-939 та ПЭТВ-943.

– АД з $H \geq 160$ мм має клас ізоляції «F», тривало допустиму температуру $t_{д.д.} = 155^0$ С, розрахункову температуру $t_{розр.} = 115^0$ С; марки обмотувальних проводів: ПЭТ-155; ПЭТ-155А; ПЭТ-155Т та ПЭТМ-155.

Таблиця 2 – Значення опорів фаз обмотки АДКР

$\Theta_0 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } ^\circ\text{C}$

C1-C4	C2-C5	C3-C6	$R_{1cp\Theta_0}$, Ом	$R_{1(75^\circ\text{C})}$, Ом
$R_{C1-C4} =$	$R_{C2-C5} =$	$R_{C3-C6} =$		

В таблиці 2 позначено:

- C1-C4, C2-C5, C3-C6 – фазні обмотки статора.
- R_{C1-C4} , R_{C2-C5} , R_{C3-C6} – омічні опори обмоток.
- $R_{1cp\Theta_0}$ – середнє значення опору фазної обмотки при

температурі навколишнього середовища.

– $R_{1(75^\circ\text{C})}$ – опір фазної обмотки статора при розрахунковій температурі $\Theta_p = 75^\circ\text{C}$ для класу нагрівостійкості ізоляції «В»

$$R_{1cp} = \frac{R_A + R_B + R_C}{3}; \quad R_{1(75^\circ)} = R_{1cp(\Theta_0)} \frac{235 + 75}{235 + 15}. \quad (1)$$

Формула (1) приведена для обмоток статора виконаних з мідного обмоточного проводу.

3 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

3.1 Детальну інформацію про:

- будову і матеріал виготовлення магнітопроводів статора та ротора АД;
- будову і матеріал виготовлення короткозамкненої та фазної обмоток ротора АД, а також способи виготовлення к.з. обмоток ротора АД;
- види і геометричну форму пазів статора і ротора АД;
- види пазової ізоляції одно- та двошарових обмоток статора АД;
- будову елементів конструкції і принцип роботи системи охолодження АД;
- призначення і будову контактних кілець та щіткового апарата АД з фазним ротором;
- приблизну величину повітряного зазору АД малої і середньої потужності;
- поняття висоти вісі обертання АД.

- 3.2 Конструктивну схему АД з к.з. ротором в двох проекціях.
- 3.3 Ескізи пазів статора і ротора АД.
- 3.4 Таблицю з результатами вимірювань та розрахунків опорів обмотки статора
- 3.5 Аналіз отриманих результатів.

4 Контрольні питання

- 4.1 З яких основних конструктивних елементів складається АМ?
- 4.2 Які розрізняють два основні види АД по конструктивному виконанню ротора?
- 4.3 Поясніть будову статора та короткозамкненого ротора АД .
- 4.4 З яких елементів конструкції складається фазний ротор АД?
- 4.5 З якого матеріалу виконується магнітопровід статора і ротора АД?
- 4.6 Яка обмотка розташовується на статорі АД і матеріал її виготовлення?
- 4.7 Як влаштована к.з. обмотка ротора, матеріал і спосіб її виготовлення?
- 4.8 Яка зразкова величина повітряного зазору АД малої і середньої потужності?
- 4.9 З яких конструктивних елементів складається система охолодження АД з к.з. ротором із зовнішнім обдуванням?
- 4.10 Як забезпечується ефективність охолодження АД з к.з. ротором, що продувається ?
- 4.11 Призначення і пристрій контактних кілець і щіткового апарату АД з фазним ротором.
- 4.12 Що розуміється під висотою осі обертання АД?

Лабораторна робота

ДОСЛІД ХОЛОСТОГО ХОДУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Мета роботи

Засвоєння методики і закріплення практичних навичок проведення випробувань асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором (АДКР) в режимі холостого ходу (х.х.). Отримання характеристик, параметрів та енергетичних показників, що визначають властивості АДКР в режимі х.х.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Підготувати по рекомендованій літературі [1. с. 546-550, 6. с. 168-179, с. 201-206] матеріали, що стосуються властивостей асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в режимі х.х.

1.2 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням в лабораторії електричних машин. Записати тип і номінальні дані досліджуваного АДКР і регулятора напруги, а також типу обраних для проведення дослідів х.х. асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором вимірювальних приладів.

1.3 Виміряти омичний опір обмоток статора асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

1.4 Зібрати електричну схему пуску і зміни напрямку (рис. 2) і виконати пуск, зупинку і зміну напрямку обертання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

1.5 Зібрати електричну схему випробування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в режимі х.х. (рис. 3) і провести дослід х.х. асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у відповідності з типовою методикою випробування.

1.6 Дослід х.х. проводиться з метою:

- Отримання характеристик х.х. асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором
- Визначення параметрів х.х. двигуна.

- Визначення струму х.х. і потужності втрат х.х. асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.
- Визначення коефіцієнту потужності ($\cos\varphi_0$) і моменту M_0 х.х. асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

1.7 Опрацювати дослідні дані, провести аналіз і порівняльну оцінку енергетичних показників і величин, що визначають властивості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в режимі х.х.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Вимірювання омичного опору обмоток статора.

Вимірювання омичного опору обмоток статора асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором здійснюється за допомогою вимірювального мосту, омметра або тестера. Позначення виводів фазних обмоток статора трифазного асинхронного двигуна з к.з. ротором і схема їх з'єднання в «зірку» і «трикутник» приведені на рисунку 1. При вимірюванні опору обмоток слід відмітити температуру обмотки, прийнявши її рівною температурі навколишнього середовища, якщо до досліду асинхронного двигуна з к.з. ротором тривалий час був відключений від мережі. За допомогою вимірювального приладу проводиться по 2-3 заміри опору обмоток кожної фази і визначається середнє значення опору фазних обмоток асинхронного двигуна з к.з. ротором. Визначаються також середні значення опорів обмоток асинхронного двигуна з к.з. ротором при температурі навколишнього середовища (20°C) і розрахунковій температурі (75°C). Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення опорів фаз обмотки статора АДКР

$$\theta_0 = \text{---}^{\circ}\text{C}$$

C1-C4	C2-C5	C3-C6	$R_{Icep\theta_0}$, Ом	$R_{I(75^{\circ}\text{C})}$, Ом
$R_{C1-C4} =$	$R_{C2-C5} =$	$R_{C3-C6} =$		

В таблиці 1 позначено:

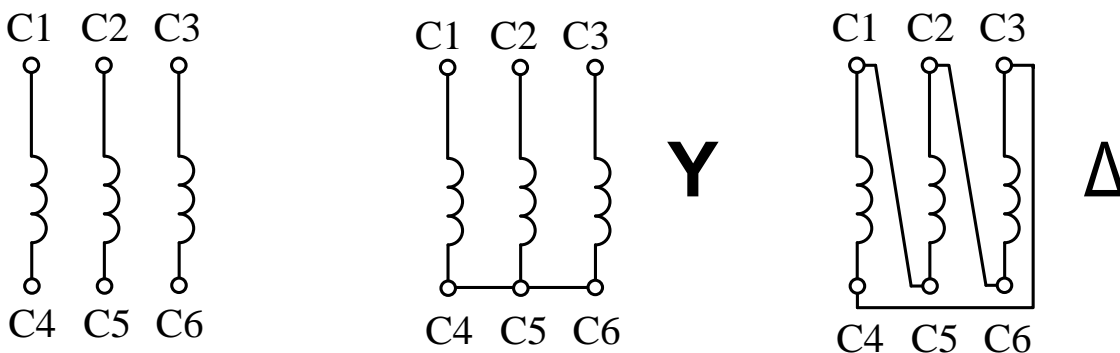
- C1-C4, C2-C5, C3-C6 – фазні обмотки статора.
- R_{C1-C4} , R_{C2-C5} , R_{C3-C6} – омичні опори обмоток.

– $R_{1cp\Theta_0}$ – середнє значення опору фазної обмотки при температурі навколишнього середовища.

– $R_{1(75^\circ C)}$ – опір фазної обмотки статора при розрахунковій температурі $\Theta_p=75^\circ C$ для класу нагрівостійкості ізоляції «В»

$$R_{1cp} = \frac{R_A + R_B + R_C}{3}; \quad R_{1(75^\circ)} = R_{1cp(\Theta_0)} \frac{235 + 75}{235 + 15}. \quad (1)$$

Формула (1) приведена для обмоток статора виконаних з мідного обмоточного проводу.



а) позначення виводів обмотки статора АДКР б) схема «зірка» в) схема «трикутник»

Рисунок 1 – Позначення виводів і схеми з'єднання обмотки статора асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

2.2 Пуск, відключення та зміна напрямку обертання АДКР.

Пуск АДКР на холостому ході при прямому включенні обмоток статора в мережу змінного струму з номінальною напругою U_{In} відбувається за схемою рисунку 2, при цьому візуально визначається напрямок обертання ротору АДКР. Потім АДКР відключається від мережі. Для того, щоб змінити напрямок обертання ротора двигуна, необхідно змінити напрямок обертання магнітного поля що створює трифазна обмотка статора. Для цього достатньо змінити порядок чередування фаз обмотки статора, змінивши місцями виводи будь-яких двох фаз, наприклад С1 і С2.

Далі необхідно ввімкнути двигун до мережі і переконатися в цьому.

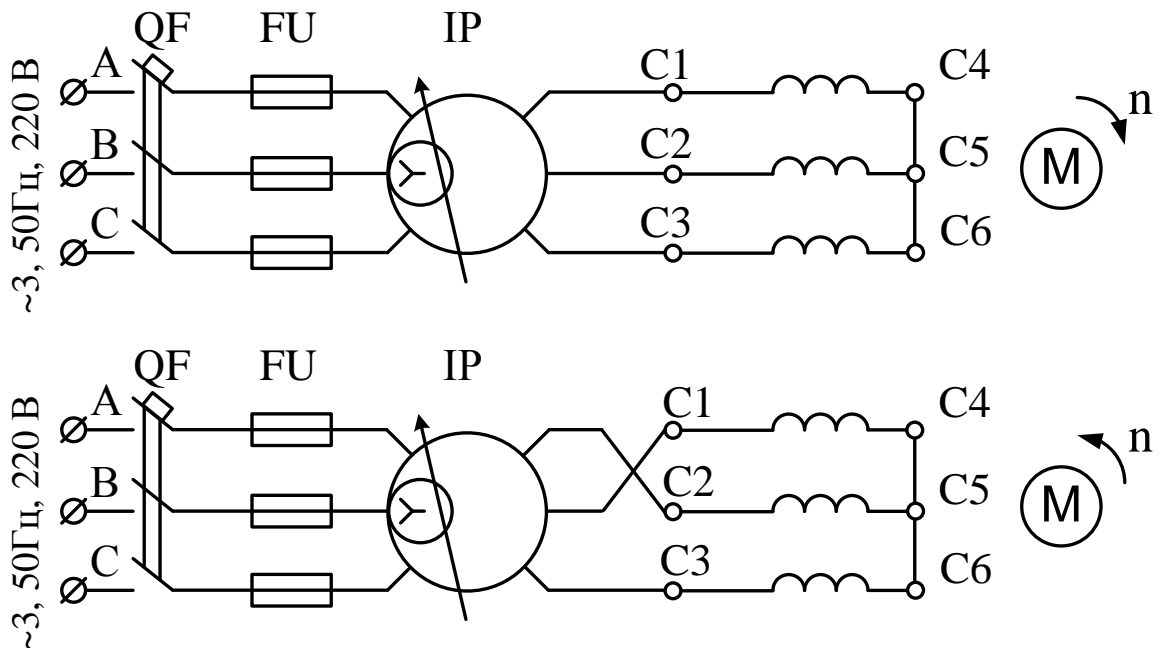


Рисунок 2 – Схема пуску і зміни напрямку обертання АДКР

2.3 Методика проведення дослідів х.х. АДКР.

Дослід х.х. АДКР проводиться за схемою рисунку 3. Обмотка статора АД включається в мережу трифазного змінного струму через індукційний регулятор напруги (ІР) та вимірювальний комплект (КВ). Дослід проводиться починаючи з максимального значення напруги, що дорівнює $1,2U_{1н}$, яка в досліді знижується до значення $0,25U_{1н}$. При цьому ротор двигуна обертається без навантаження на валу. Усього проводиться 5-6 дослідів. Обов'язково виконується дослід при **номінальному значенню напруги**. В досліді вимірюються по фазам обмотки статора напруги х.х. (U_{10}), струми (I_{10}) і потужності х.х. (P_{10}). Результати вимірювань та необхідних розрахунків заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Дані дослідів холостого ходу АДКР

№ дослідів	U_{0A}	U_{0B}	U_{0C}	U_{10}	I_{0A}	I_{0B}	I_{0C}	I_{10}	P_{0A}	P_{0B}	P_{0C}	P_{10}	$\cos\varphi_0$	n_0
	В	В	В	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	в.о.	об./хв.
1														
...														
6														

В таблиці 2 позначено:

U_{10}, I_{10} – середнє значення фазної напруги і струму холостого ходу;

P_{10} – сумарна потужність холостого ходу АДКР;

$\cos\varphi_0$ – розрахункове значення коефіцієнту потужності х.х. АДКР.

n_0 – частота обертання ротора АДКР на х.х.

При цьому

$$U_0 = \frac{1}{3}(U_{0B} + U_{0B} + U_{0C}); \quad I_0 = \frac{1}{3}(I_{0A} + I_{0B} + I_{0C}); \quad (2)$$

$$P_0 = P_{0A} + P_{0B} + P_{0C}; \quad \cos\varphi_0 = \frac{P_{10}}{3U_{10} \cdot I_{10}}.$$

2.4 Побудова характеристик холостого ходу (х.х.х.).

Характеристиками х.х. АДКР називаються графічні залежності

$$I_0, P_0, \cos\varphi_0 = f(U_0), \text{ при } n=n_0.$$

Характеристики х.х. будують по дослідним даним приведеним в таблиці 2. Приблизний вид характеристик х.х. АДКР представлено на рисунку 4.

2.5 Визначення параметрів х.х. АДКР.

Параметрами х.х. АДКР називаються активний R_0 , індуктивний X_0 та повний опір Z_0 х.х. АД.

При цьому

$$Z_0 = \frac{U_{10}}{I_{10}}; \quad R_0 = \frac{P_0}{3I_{10}^2}; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}. \quad (3)$$

Параметри х.х. можуть бути розраховані за дослідними даними, що наведені в таблиці 2 з використанням значень P_{10} , I_{10} при $U_{10}=U_{1н}$.

2.6 Визначення і оцінка струму х.х. I_{10} , потужності втрат х.х. P_{10} , коефіцієнту потужності х.х. $\cos\varphi_0$ і моменту х.х. M_0 .

Значення I_{10} , P_{10} і $\cos\varphi_0$ при номінальній напрузі $U_{1н}$ визначаються безпосередньо за дослідними та розрахунковими даними наведеними в таблиці 2.

Момент АДКР на х.х. визначається за рівнянням

$$M_0 = \frac{P_{10}}{\Omega_0}, \quad \text{при цьому} \quad \Omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}, \quad (4)$$

де Ω_0 - кутова швидкість обертання АДКР, рад/с.

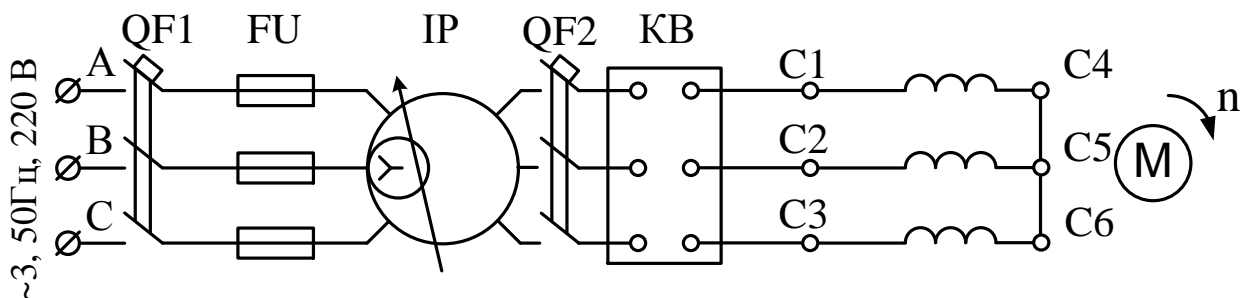


Рисунок 3 – Електрична схема дослідження холостого ходу АДКР

Потужність х.х. витрачається на наступні види активних втрат, що обумовлюють нагрівання елементів конструкції АДКР

$$P_{10} = \Delta P_{мх} + \Delta P_{мг} + \Delta P_{e10} + \Delta P_{\delta}, \quad (5)$$

де $\Delta P_{мх}$ - механічні втрати на тертя в підшипниках, ротора о повітря і вентиляційних лопаток, Вт;

$\Delta P_{мг}$ - магнітні втрати на гістерезис і струми Фуко на х.х. в основному в осерді статора, Вт;

ΔP_{e10} - електричні втрати в обмотках статора, Вт;

ΔP_{δ} - додаткові втрати від полів вищих гармонік, Вт.

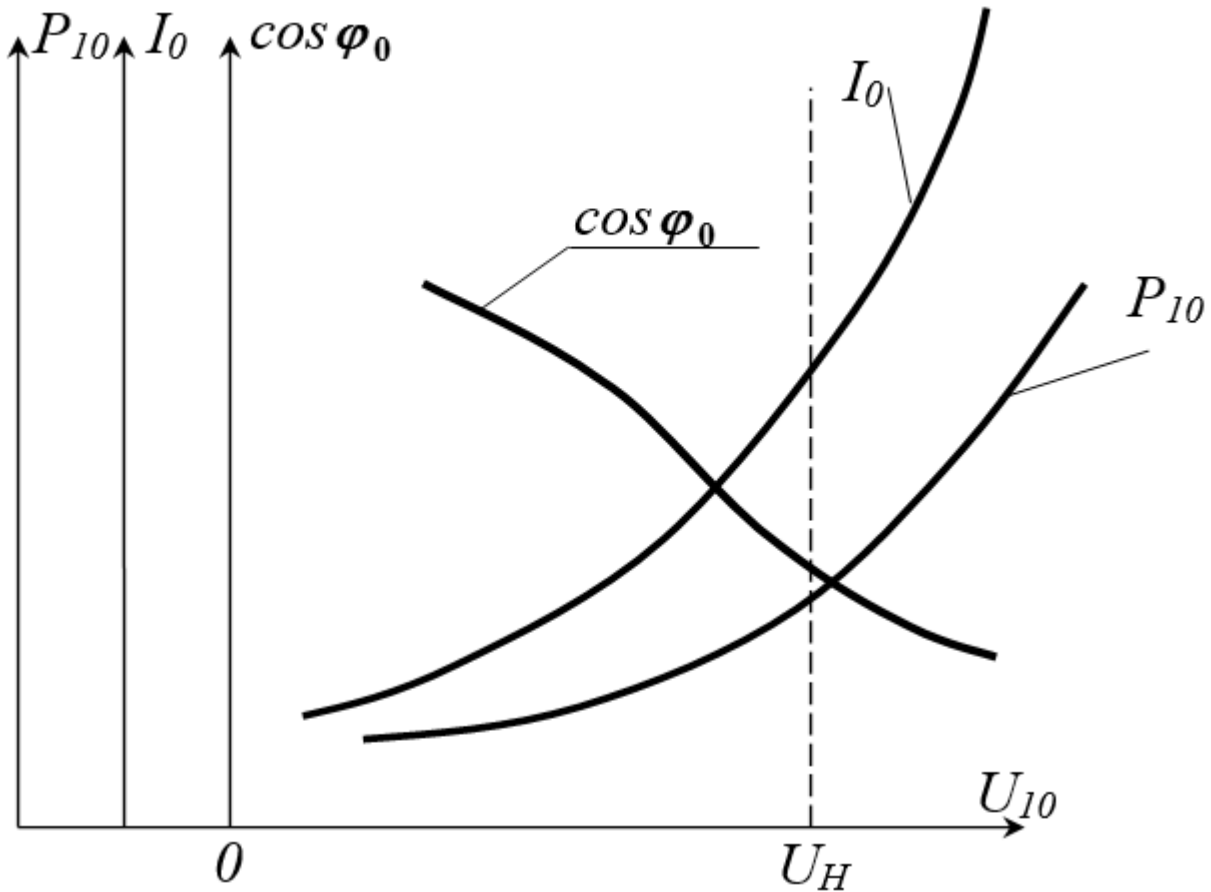


Рисунок 4 – Приблизний вид характеристик холостого ходу три-фазного АДКР

Практичний інтерес становить собою порівняльна оцінка отриманих значень: I_{10} , P_{10} і M_0 по відношенню до номінальних величин АДКР

$$I_{0\%} = \frac{I_{10}}{I_{1н}} \cdot 100; \quad P_{0\%} = \frac{P_{10}}{P_n} \cdot 100; \quad M_{0\%} = \frac{M_0}{M_n} \cdot 100. \quad (6)$$

При цьому

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n}; \quad M_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\Omega_n}; \quad \Omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}. \quad (7)$$

Значення номінальної потужності - P_n , кВт; ККД - η_n , %; частоти обертання - n_n , об/хв.; коефіцієнта потужності $\cos \varphi_n$ і напруги U_n , В, наведено в паспортних даних АДКР, що досліджується.

3 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

3.1 Електричну схему досліду х.х. АДКР і схеми включення обмотки статора (рисунки 1 і 2).

3.2 Заповнені таблиці 1 і 2 з даними вимірювань та розрахунковими даними досліду х.х. і виміру омичного опору обмотки.

3.3 Характеристики х.х. АДКР, побудовані за даними досліду х.х., з поясненням виду характеристик.

3.4 Розрахунок параметрів х.х. АДКР за даними досліду х.х. (R_0 , X_0 та Z_0).

3.5 Значення струму х.х. I_{10} , потужності х.х. P_{10} та коефіцієнту потужності $\cos\varphi_0$ при номінальній напрузі U_n отримані дослідним шляхом і оцінка в відсотках значень I_{10} та P_{10} по відношенню до номінальних значень I_n та P_n АДКР.

3.6 Розрахунок значень: моменту х.х. M_0 ; номінального моменту M_n ; номінального струму I_n двигуна і оцінка в відсотках M_0 по відношенню до M_n АДКР.

3.13 Технічну характеристику обладнання, вимірювальних приладів, що використовувалися в дослідах.

3.14 Аналіз отриманих результатів.

4 Контрольні питання

4.1 Назвіть основні елементи конструкції АДКР.

4.2 Принцип дії АДКР. Поняття ковзання.

4.3 Що означає режим холостого ходу АДКР?

4.4 Назвіть та приведіть електричні схеми з'єднання обмоток статора АДКР, які використовуються на практиці.

4.5 Як змінити напрямок обертання трифазного АДКР?

4.6 З якою метою проводиться дослід холостого ходу АДКР?

4.7 Пояснити коротко методику проведення досліду х.х. Привести та пояснити вид характеристик х.х. АДКР.

4.8 Яку частку в відсотках складає струм х.х. від номінального струму АДКР?

4.9 На які види втрат затрачається потужність х.х. і яку приблизно частку в відсотках складає потужність х.х. від номінальної потужності АДКР?

4.10 Що називається і як визначається коефіцієнт потужності АДКР ($\cos \varphi_0$) за даними досліду х.х.? Назвіть приблизне значення $\cos \varphi_0$ АДКР і поясніть низьке значення $\cos \varphi_0$ АДКР на х.х.

4.11 Назвіть номінальні дані АДКР, що приведено на заводській таблиці, яка закріплена на корпусі.

4.12 Назвіть способи пуску АДКР. Що означає прямий пуск АДКР? В скільки разів при прямому пуску АДКР пусковий струм перевищує номінальний струм двигуна?

Лабораторна робота

ДОСЛІД КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Мета роботи

Засвоєння методики і закріплення практичних навичок проведення випробувань асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором (АДКР) в режимі короткого замикання (к.з.). Отримання характеристик, параметрів та енергетичних показників, що визначають властивості АДКР в режимі к.з.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Опрацювати по рекомендованій літературі [1. с. 546-550, 6. с. 168-179, с. 201-206] теоретичні матеріали, що стосуються властивостей АДКР в режимі к.з. при зниженій напрузі джерела живлення.

1.2 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням в лабораторії електричних машин. Записати тип і номінальні дані досліджуваного АДКР і регулятора напруги, а також типу обраних для проведення дослідів к.з. АДКР вимірювальних приладів.

1.3 Виміряти омичний опір обмоток статора АДКР.

1.4 Зібрати електричну схему випробування АДКР в режимі к.з. (рис. 1) і провести дослід к.з. АДКР у відповідності з типовою методикою випробування.

1.5 Дослід к.з. проводиться з метою:

- Отримання характеристик к.з. АДКР.
- Визначення параметрів к.з. двигуна.
- Визначення потужності втрат к.з. АДКР при номінальному струмі.

- Визначення початкового пускового струму і початкового пускового моменту к.з. АД.

1.6 Опрацювати дослідні дані, провести аналіз і порівняльну оцінку енергетичних показників і величин, що визначають властивості АДКР в режимі к.з.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Методика проведення досліду к.з. АДКР.

Дослід к.з. АДКР проводиться по схемі рисунку 1.

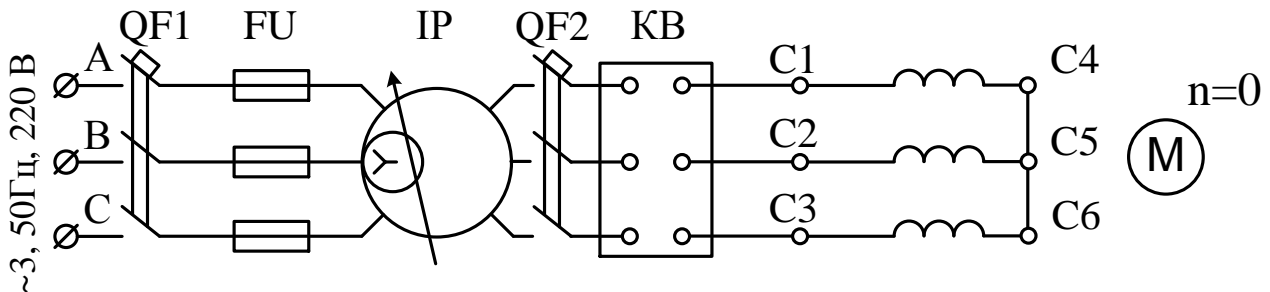


Рисунок 1 – Електрична схема досліду короткого замикання АДКР

На обмотку статора АДКР подається значно знижена напруга, яка в досліді змінюється таким чином, щоб струм к.з. знаходився в межах $(0,2 \dots 1,2)I_{In}$. При цьому ротор АДКР загальмований, тобто нерухомий. В досліді к.з. проводяться вимірювання по трьом фазним обмоткам статора напруги к.з. (U_{Ik}), струмів к.з. (I_{Ik}) та потужності к.з. (P_{Ik}). Знімаються 5...6 точок. Обов'язково виконується дослід к.з. при струмі к.з., що дорівнює номінальному струму АДКР ($I_k = I_n$). результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані досліду короткого замикання АДКР

№ досліду	U_{kA}	U_{kB}	U_{kC}	U_{Ik}	I_{kA}	I_{kB}	I_{kC}	I_{Ik}	P_{kA}	P_{kB}	P_{kC}	P_{Ik}	$\cos \varphi_k$
	В	В	В	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	в.о.
1													
⋮													
6													

В таблиці 1 позначено:

U_{Ik}, I_{Ik} – середнє значення фазної напруги і струму к.з. АД;

P_{I_k} – сумарна потужність короткого замикання АД;
 $\cos\varphi_k$ – розрахункове значення коефіцієнту потужності к.з. АД.

При цьому

$$U_k = \frac{1}{3}(U_{kA} + U_{kB} + U_{kC}); \quad I_k = \frac{1}{3}(I_{kA} + I_{kB} + I_{kC});$$

$$P_{I_k} = P_{kA} + P_{kB} + P_{kC}; \quad \cos\varphi_k = \frac{P_{I_k}}{3U_{I_k} I_{I_k}}. \quad (1)$$

2.2 Побудова характеристик к.з. (х.к.з.).

Характеристиками к.з. АДКР називаються графічні залежності

$$I_k, P_k, \cos\varphi_k = f(U_{I_k}), \text{ при } n=0.$$

Характеристики к.з. будують по дослідним даним, приведеним в таблиці 1. Приблизний вид характеристик х.к. АД КР представлено на рисунку 2.

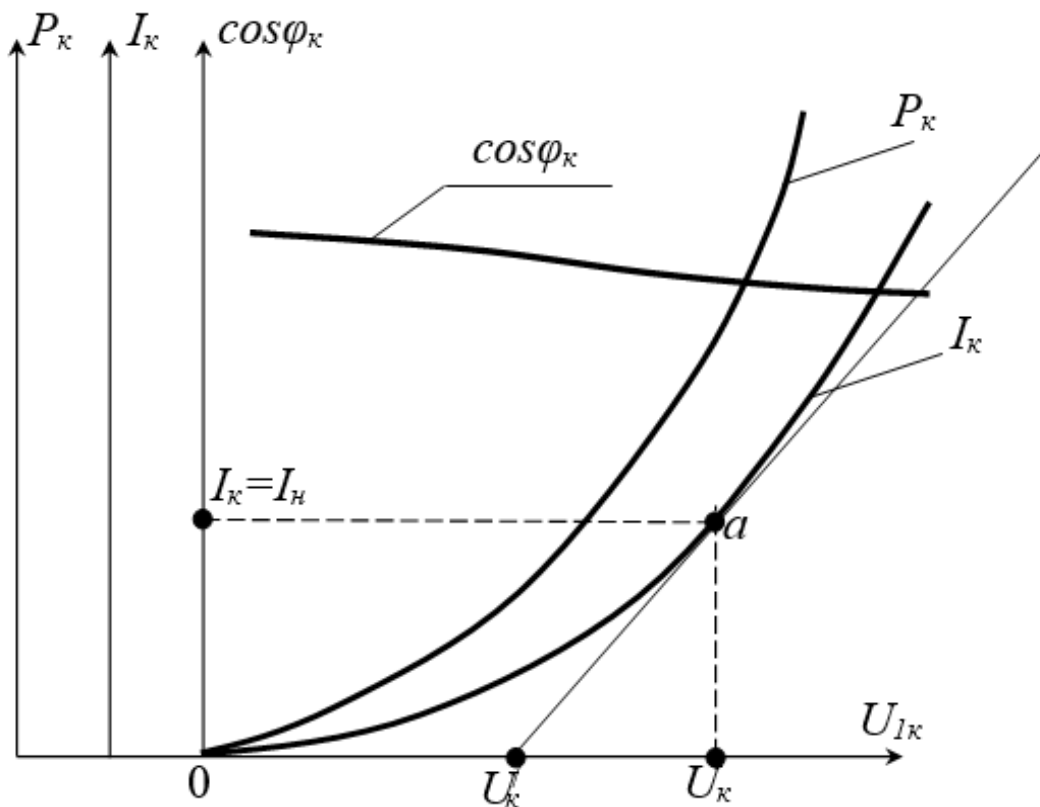


Рисунок 2 – Приблизний вид характеристик короткого замикання трифазного АДКР

2.3 Визначення параметрів к.з. АДКР.

Параметрами к.з. трансформатора називаються активний R_{κ} , індуктивний X_{κ} та повний опір Z_{κ} к.з. АДКР.

При цьому

$$Z_{\kappa} = \frac{U_{\kappa\phi}}{I_{1H}}; \quad R_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{3I_{1H}^2}; \quad X_{\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa}^2 - R_{\kappa}^2}. \quad (2)$$

Параметри к.з. можуть бути розраховані за дослідними даними, що наведені в таблиці 1 з використанням значень $P_{1\kappa}$ і $U_{\kappa\phi}$ при $I_{1\kappa} = I_{1H}$.

Номінальний струм по паспортним даним трифазного АДКР визначається за рівнянням

$$I_{H} = \frac{P_{H} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{H} \cdot \eta_{H} \cdot \cos\varphi_{H}}, \quad (3)$$

де P_{H} – номінальна потужність АД, кВт;

U_{1H} – номінальна напруга живлення АД, В;

$\cos\varphi_{H}$ – номінальний коефіцієнт потужності АД, в.о.;

η_{H} – номінальний коефіцієнт корисної дії АД, в.о.

2.4 Визначення потужності втрат к.з. АДКР.

Потужність втрат к.з. $P_{\kappa H}$ при $I_{1\kappa} = I_{1H}$ визначається безпосередньо з дослідів к.з. по даним таблиці 1.

При цьому

$$P_{\kappa H} = \Delta P_{e1} + \Delta P_{e2} + \Delta P_{m2} + \Delta P_{\partial}, \quad (4)$$

де ΔP_{e1} – електричні втрати в обмотці статора АДКР при номінальному струмі;

ΔP_{e2} – електричні втрати в обмотці к.з. ротора при номінальному струмі;

$\Delta P_{\text{мг}}$ - магнітні втрати на гістерезис і віхрьові струми в осерді статора і ротора АДКР при напрузі $U_{1к}$, при якій $I_{1к}=I_{1н}$;

ΔP_{δ} - додаткові втрати від полів вищих гармонік в режимі к.з.

2.5 Визначення значень початкового пускового струму і початкового пускового моменту АДКР.

Пусковий струм I_n при номінальній напрузі може бути визначений з використанням характеристик струму к.з. $I_{1к}=f(U_{1к})$. З цією метою проводиться дотична до кривої струму в точці «а» з координатою $I_{к}=I_n$ до перетинання з віссю абсцис в точці $U'_к$, як це показано на рисунку 2. При цьому початковий пусковий струм I_n АДКР рівний струму к.з. при номінальній напрузі $I_{кн}$ визначається рівнянням

$$I_n = I_{кн} = \frac{U_n - U'_к}{U_к - U'_к} \cdot I_к, \quad (5)$$

де $I_к$, $U_к$ – відповідно струм і напруга в точці «а» кривої на рисунку 2;

U_n – номінальна напруга двигуна;

$U'_к$ – напруга, відповідна відрізку, що відсікається на вісі абсцис (вісь $U_{1к}$) дотичною до кривої $I_к=f(U_к)$.

Початковий пусковий момент АДКР при номінальній напрузі визначається по рівнянню

$$M_{п} = \left(\frac{I_{кн}}{I_к} \right)^2 \cdot M_к, \quad (6)$$

де $I_{кн}$ - використовується результат розрахунку по (5);

$I_к$ – визначається з графіку $I_к = f(U_{1к})$ в точці «а»;

M_k – момент що розвивається двигуном в режимі к.з. при найбільшому значенні напруги досліду к.з. рівний

$$M_k = \frac{P_{1k}}{\Omega_1} \cdot k_{mi}; \quad \Omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30}; \quad n_1 = \frac{60 f_1}{p}, \quad (7)$$

де Ω_1 – синхронна кутова швидкість АДКР, рад/с;

P_{1k} – електромагнітна потужність при найбільшій напрузі $U_{k_{max}}$ досліду к.з., яка визначається по таблиці 1;

$k_{mi}=0,9$ – коефіцієнт, що враховує можливе зменшення M_k , обумовлене додатковими втратами.

3 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

3.1 Електричну схему досліду к.з. АДКР (рисунок 1).

3.2 Таблицю 1 з дослідними та розрахунковими даними.

3.3 Характеристики к.з. АДКР побудовані за даними досліду к.з. (таблиця 1) з поясненням виду характеристик.

3.4 Розрахунок параметрів к.з. АДКР за даними досліду к.з. (R_k , X_k та Z_k).

3.5 Значення струму потужності втрат к.з. $P_{кн}$ при струмі к.з. рівному номінальному і оцінка в відсотках значення $P_{кн}$ по відношенню до номінальної потужності АДКР.

3.6 Графоаналітичний розрахунок по характеристикам к.з. значень початкового пускового струму та початкового пускового моменту АДКР з порівнянням їх з паспортними даними досліджуваного АДКР.

3.7 Технічну характеристику обладнання, вимірювальних приладів, що використовувалися в досліді.

3.8 Аналіз отриманих результатів.

4 Контрольні питання

4.1 Назвіть основні елементи конструкції АДКР.

4.2 Принцип дії АДКР. Поняття ковзання.

4.3 Назвіть та приведіть електричні схеми з'єднання обмоток статора АДКР, які використовуються на практиці.

4.4 Як змінити напрямок обертання трифазного АДКР?

4.5 Назвіть номінальні дані АДКР, що приведено на заводській табличці, яка закріплена на корпусі.

4.6 Назвіть способи пуску АДКР. Що означає прямий пуск АДКР? В скільки разів при прямому пуску АДКР пусковий струм перевищує номінальний струм двигуна?

4.7 Що означає режим к.з. АДКР? З якою метою проводиться дослід к.з. АДКР? Поясніть електричну схему дослід к.з. АДКР.

4.8 Які графічні залежності називають характеристиками к.з. АДКР?

4.9 Коротко поясніть методику проведення дослід к.з. АДКР. Приведіть та поясніть вид характеристик к.з. АДКР.

4.10 Що означає кратність пускового струму АДКР і приблизна її величина?

4.11 Поясніть, як за даними дослід к.з. визначаються початковий пусковий струм та початковий пусковий момент АДКР.

4.12 Що означає кратність пускового моменту та приблизна її величина?

Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ В РЕЖИМІ НАВАНТАЖЕННЯ

Мета роботи

Придбання практичних навичок отримання дослідним шляхом робочих характеристик АД з короткозамкненим ротором і визначення властивостей АД в режимі навантаження

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Опрацювати по рекомендованій літературі [1-11] теоретичний матеріал що стосується властивостей АД з к.з. ротором в режимі навантаження. Розібратися та уміти пояснити робочі характеристики АД в установленому режимі роботи.

1.2 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням в лабораторії електричних машин. Записати тип і номінальні дані досліджуваного АД і регулятора напруги, а також типу обраних для проведення досліду навантаження АД вимірювальних приладів і тахогенератора.

1.3 Зібрати електричну схему випробування АД в режимі навантаження (рисунок 1), провести дослід безпосереднього навантаження двигуна і зняти дослідні дані для побудови робочих характеристик АД з к.з. ротором.

1.4 Опрацювати дослідні дані, побудувати робочі характеристики АД.

1.5 Провести аналіз робочих характеристик і оцінити властивості АД в режимі навантаження.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

Робочі характеристики трифазного АД з к.з. ротором представляють собою графічні залежності потужності що споживається (P_1), струму статора (I_1), частоти обертання (n), обертально-го електромагнітного моменту (M), корисного моменту (M_2), коефіцієнту корисної дії (η), коефіцієнту потужності ($\cos\varphi_1$) і ковзання (s) від корисної потужності на валу двигуна (P_2) при номінальній напрузі, що підводиться до обмотки статора ($U_{1н}$) і номінальній частоті струму живлячої мережі (f_n), тобто

$$P_1, I_1, n, M, M_2, \eta, \cos\varphi_1 \text{ та } s = f(P_2), \quad (1)$$

при $U_{1н} = const$ і $f_n = const$.

Приблизний вид робочих характеристик АД з короткозамкненим ротором представлено на рисунку 1.

Зняття робочих характеристик АД проводиться по методу безпосереднього навантаження на валу двигуна за схемою рисунку 2. В якості навантажувального пристрою для АД в лабораторних умовах використовується генератор постійного струму (ГПС) незалежного збудження, вал якого механічно зв'язаний з валом досліджуваного АД.

Дослід проводиться за електричною схемою рисунку 2 в наступній послідовності. Встановивши на вихідних клеммах індукційного регулятора (ІР) напругу $U_1 = U_{1н}$, АД підключається до живлячої мережі без навантаження на валу і вимірюються струми I_{10} і потужності P_{10} холостого ходу по фазам АД, а також частота обертання ротора АД на холостому ході n_0 . Потім подається постійний струм $I_{зб}$ на обмотку збудження ГПС, встановлюється напруга на затискачах генератора $U_2 = U_{zn}$ і за допомогою рідинного реостату $R_{нав}$. відбувається завантаження ДПС таким чином, щоб струм навантаження асинхронного двигуна змінювався в межах від $I_1 = I_{10}$ до $I_1 = 1,25I_{1н}$.

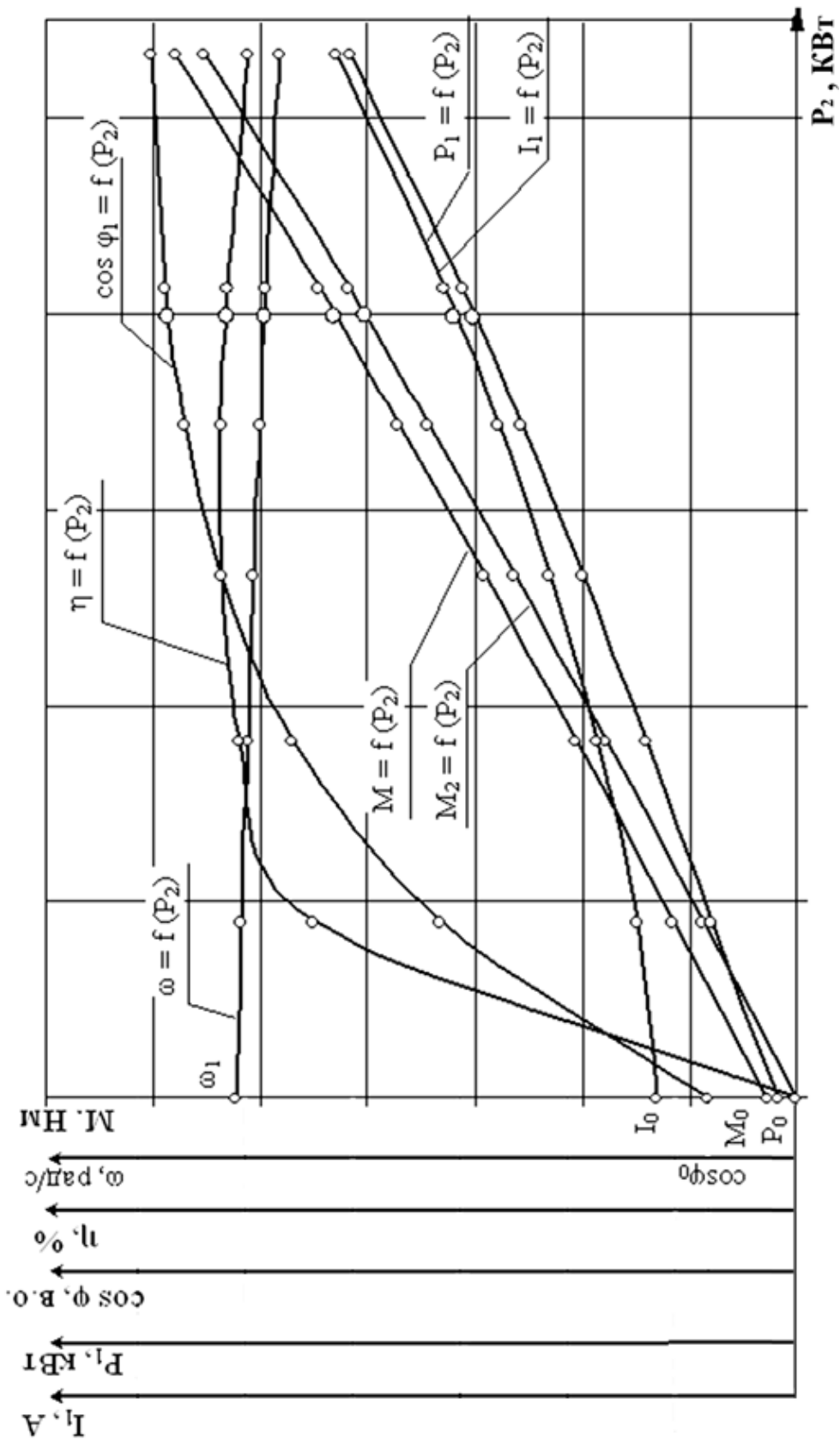


Рисунок 1 – Типові робочі характеристики АД з к.з. ротором

Під час виконання досліду навантаження напруга що подається на обмотку статора АД підтримується незмінною ($U_1 = const$) і струм збудження навантажувального ГПС також не змінюється ($I_{зб} = const$). Рекомендується знімати 5...6 точок. Обов'язково проводиться дослід при номінальному струмі навантаження АД $I_1 = I_{1н}$. При кожному значенні струму навантаження вимірюються: потужності і струми по фазам обмоток статора АД (P_1, I_1), частота обертання ротора двигуна (n), напруга і струм якоря навантажувального генератора (U_2, I_2). Результати вимірювань заносяться до таблиці 1.

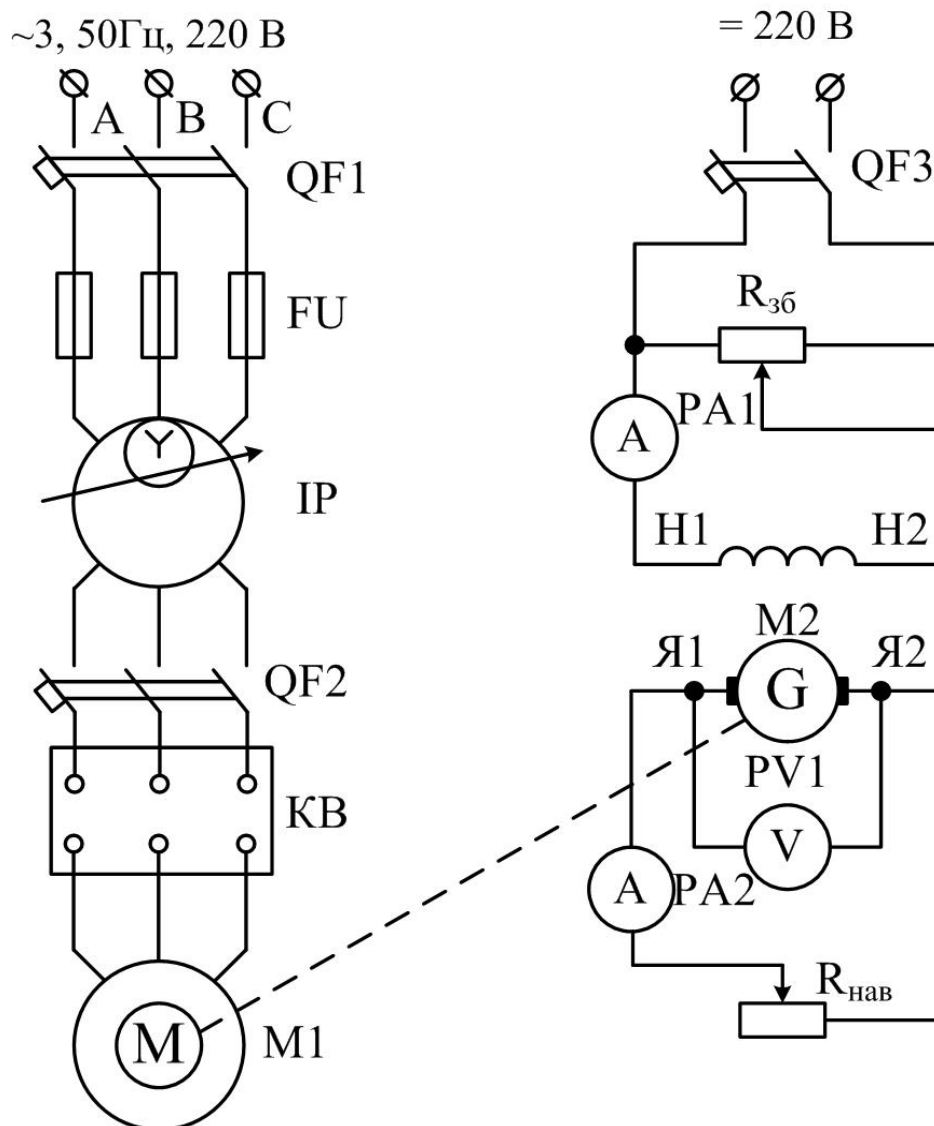


Рисунок 2 – Електрична схема дослідження АД з к.з. ротором в режимі навантаження

Таблиця 1 – Дослідні та розрахункові дані дослідів
навантаження АД з к.з. ротором

№ дослідів	АД - дослідні дані при $U_{1H} = B = const$									Дані ГПС			
	I_{1A}	I_{1B}	I_{1C}	I_1	P_{1A}	P_{1B}	P_{1C}	P_1	n	U_2	I_2	P_2	η_2
	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	об/хв.	В	А	Вт	в.о.
1													
...													
6													

продовження таблиці 1

№ дослідів	АД – розрахункові дані									
	P_2	Ω	Ω_0	M_2	M_0	M	η_∂	$\cos\varphi_1$	s	
	Вт	рад/с	рад/с	Н·м	Н·м	Н·м	%	в.о.	%	
1										
...										
6										

В таблиці 1 позначено:

I_1 – середнє значення струму в обмотках статора АД;

P_1 – сумарна потужність, що споживається АД з мережі;

n – частота обертання ротора АД;

U_2, I_2 – напруга і струм навантажувального ГПС;

P_2, η_2 – потужність і ККД навантажувального ГПС;

Ω – кутова швидкість ротора АД;

M_0, M_2 і M – момент холостого ходу, корисний і електромагнітний моменти АД;

$\eta_\partial, \cos\varphi_1$ – ККД і коефіцієнт потужності АД;

s – ковзання АД.

При цьому

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}); P_1 = P_{1A} + P_{1B} + P_{1C}; \quad (2)$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2.$$

3 Обробка даних дослід навантаження

3.1 Побудова робочих характеристик АД

Коефіцієнт потужності АД з к.з. ротором в режимі навантаження визначається як відношення активної потужності що споживається з мережі до повної потужності

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot I_1}. \quad (3)$$

Корисна потужність на валу АД з к.з. ротором

$$P_2 = \frac{P_e}{\eta_e}. \quad (4)$$

При розрахунках по рівнянню (4) η_e навантажувального ГПС визначається для різних значень відношення поточних струмів генератора до номінального струму (I_e/I_{eH}) з кривої, представленої на рисунку 3.

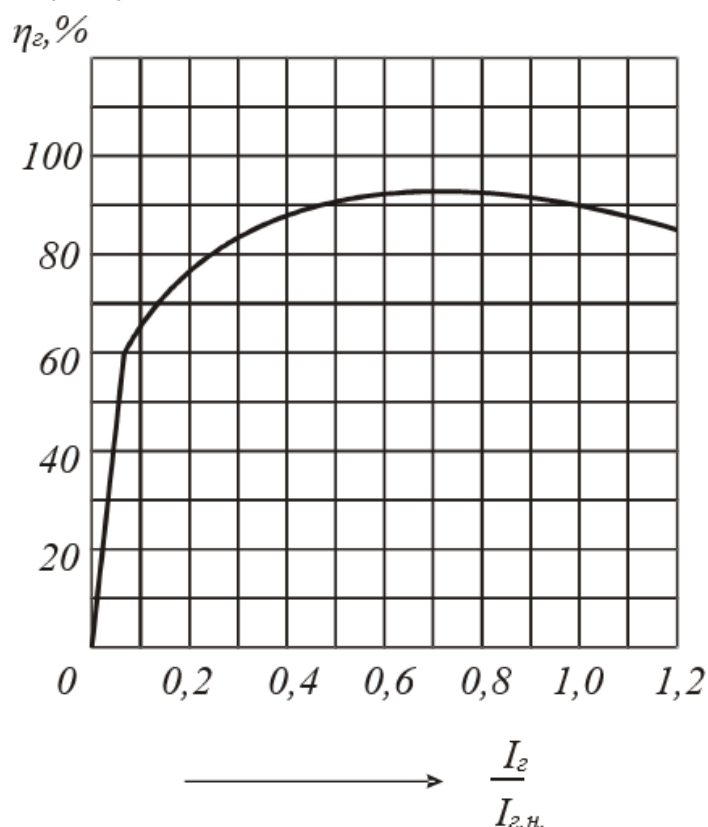


Рисунок 3 – Графік ККД навантажувального генератора постійного струму

За загальним правилом ККД АД визначається як співвідношення корисної потужності до потужності що споживається з мережі

$$\eta_{\partial} = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100. \quad (5)$$

Моменти холостого ходу (M_0), корисний момент на валу (M_2) і електромагнітний або обертальний момент АД (M) визначається по рівнянням

$$M_0 = \frac{P_0}{\Omega_0}; \quad M_2 = \frac{P_2}{\Omega}; \quad M = M_0 + M_2. \quad (6)$$

При цьому

$$\Omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}; \quad \Omega = \frac{\pi \cdot n}{30}. \quad (7)$$

Величина ковзання двигуна при різних значеннях навантаження визначається як відносна різниця частоти обертання магнітного поля що створюється струмами в обмотках статора n_1 і частоти обертання ротора АД

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100. \quad (8)$$

При цьому синхронна частота обертання магнітного поля дорівнює

$$n_1 = \frac{60 f_{1H}}{p}, \quad (9)$$

де p – число пар полюсів АД. Число полюсів двигуна дорівнює $2p$.

Робочі характеристики АД (1) слід побудувати в масштабі з використанням дослідних і розрахункових даних, наведених в таблиці 1. Приблизний вигляд робочих характеристик АД з к.з. рото-

ром представлено на рисунку 1. Необхідно уміти проводити аналіз і пояснювати вид кожної з робочих характеристик АД.

3.2 Порівняльна оцінка дослідних і паспортних даних АД

Практичний інтерес представляють значення в відсотках від номінального значення наступних дослідних величин

$$P_{0\%} = \frac{P_0}{P_H} \cdot 100; \quad I_{0\%} = \frac{I_0}{I_H} \cdot 100; \quad M_0 = \frac{M_0}{M_H} \cdot 100, \quad (10)$$

а також величина номінального ковзання АД

$$s_H = \frac{n_1 - n_H}{n_1} \cdot 100. \quad (11)$$

Значення номінальних паспортних даних АД наведено в каталожних даних, заводській таблиці або на лабораторному стенді.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричну схему досліду безпосереднього навантаження АД, що наведена на рисунку 2.

4.2 Дослідні та розрахункові дані дослідження АД в режимі навантаження у вигляді таблиці 1.

4.3 Робочі характеристики АД з к.з. ротором, побудовані в масштабі за даними досліду навантаження та розрахунків.

4.4 Порівняльну оцінку дослідних та розрахункових даних АД: $P_{0\%}$, $I_{0\%}$, $M_{0\%}$ і s_H .

4.5 Технічну характеристику АД що досліджувався, тип і потужність трифазного індукційного регулятора напруги, а також тип електровимірювального комплексу.

4.6 Аналіз отриманих результатів по роботі з поясненням виду робочих характеристик АД, а також основних властивостей АД в режимі навантаження.

5 Контрольні питання

- 5.1 Принцип дії АД. Поняття ковзання.
- 5.2 Особливості принципу роботи АД.
- 5.3 Що означає режим навантаження АД?
- 5.4 Які розрізняють види навантаження АД?
- 5.5 Який режим навантаження АД називають номінальним?
- 5.6 Назвіть номінальні данні АД.
- 5.7 Які графічні залежності називають робочими характеристиками АД?
- 5.8 Що означає споживана, корисна та електромагнітна потужність АД?
- 5.9 Як визначаються: момент х.х., номінальний момент та електромагнітний момент АД?
- 5.10 Що називається ковзанням АД? В яких межах змінюється ковзання АД? Приблизна величина ковзання АД в відсотках.
- 5.11 Як визначається синхронна швидкість обертання магнітного поля статора АД?
- 5.12 Як визначається номінальний струм трифазного АД по паспортним даним?
- 5.13 Що називається ККД і коефіцієнтом потужності АД? Як вони визначаються і їх приблизна величина при номінальному навантаженні АД?
- 5.14 Назвіть основні властивості АД з к.з. ротором в режимі навантаження.
- 5.15 Приведіть приблизний вигляд робочих характеристик АД з к.з. ротором.
- 5.16 Поясніть вид характеристик ККД і $\cos\varphi_1$ АД.
- 5.17 При якому приблизно завантаженні ККД АД досягає максимального значення?
- 5.18 Назвіть умови отримання максимального ККД АД.
- 5.19 Поясніть вигляд характеристик швидкості, ковзання і моментів АД.
- 5.20 Поясніть методику проведення досліду безпосереднього навантаження АД.

Лабораторна робота

ДОСЛІДНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ТА ККД ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Мета роботи

Освоєння методики і придбання практичних навичок дослідного визначення окремих видів втрат і ККД АД з короткозамкненим ротором

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Опрацювати по рекомендованій літературі [1-11] теоретичний і практичний матеріал, що стосується енергетики АД, видів і фізичної природи окремих видів втрат при роботі АД, існуючих методів і засобів дослідного визначення втрат і ККД АД з к.з. ротором.

1.2 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням в лабораторії електричних машин. Записати тип і номінальні дані досліджуваного АД і регулятора напруги, а також типу обраних для проведення дослідів навантаження АД вимірювальних приладів і тахогенератора.

1.3 Зібрати електричну схему, що представлена на рисунку 2 і провести дослід холостого ходу АД з к.з. ротором для отримання характеристики потужності х.х.

1.4 Зібрати електричну схему випробування АД в режимі навантаження (рисунок 3) і провести дослід безпосереднього навантаження двигуна.

1.5 Виміряти омичний опір фазних обмоток статора АД в кінці дослідів навантаження при реальній температурі обмоток.

1.6 Визначити ККД АД методом окремих втрат і побудувати графік ККД двигуна.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Енергетична діаграма перетворення активної потужності асинхронного електродвигуна з к.з. ротором.

Енергетична діаграма перетворення активної потужності асинхронного електродвигуна з к.з. ротором наведена на рис. 1. Розглянемо процес перетворення активної потужності. Асинхронний двигун споживає з електричної мережі активну потужність P_1 . Частина цієї потужності втрачається у вигляді електричних втрат ΔP_{e1} в активному опорі обмотки статора R_1 , а інша частина – у вигляді магнітних втрат ΔP_{m2} на гістерезис і вихрєві струми в осерді статора внаслідок його перемагнічування обертовим магнітним полем. Частина потужності, що залишилась P_{em} , являє собою електромагнітну потужність, що передається шляхом магнітного поля через повітряний зазор із статора в ротор. Частина цієї потужності втрачається в вигляді електричних втрат ΔP_{e2} в активному опорі обмотки ротора. Частина потужності P_{em} що залишилась, перетворюється в механічну потужність P_{mx} на роторі двигуна. Частина механічної потужності P_{mx} втрачається в двигуні у вигляді механічних втрат ΔP_{mx} на тертя в підшипниках, ротора о повітря, в щітковому контакті у машин с фазним ротором та вентиляцію, а також у вигляді додаткових втрат ΔP_o – електричних в обмотках и магнітних втрат в основному в зубцях статора і ротора від полів вищих гармонік. На виході електродвигуна отримуємо корисну механічну потужність на валу P_2 .

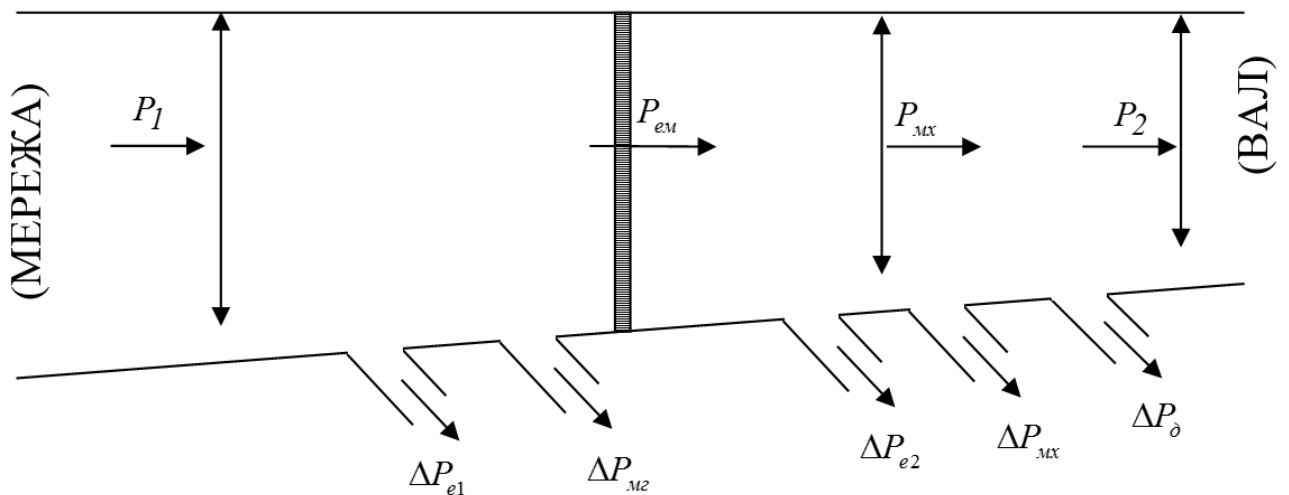


Рисунок 1 – Енергетична діаграма перетворення активної потужності асинхронного електродвигуна

2.2 Дослід холостого ходу

Дослід х.х. проводиться за схемою рисунку 2 при відключеному навантажувальному генераторі постійного струму (ГПС).

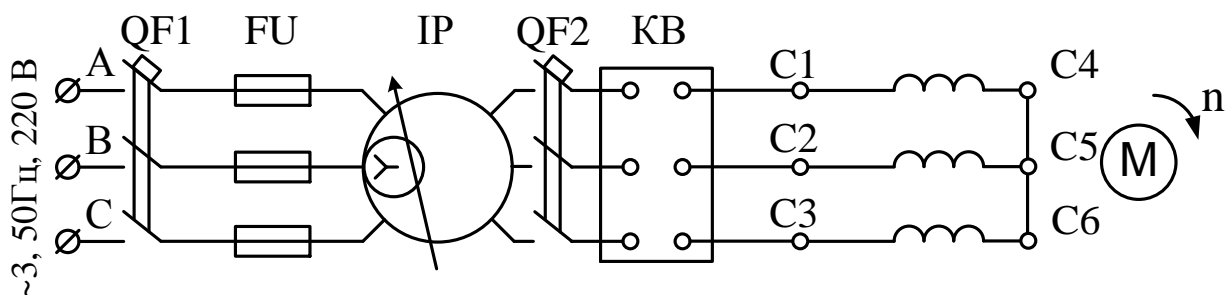


Рисунок 2 – Електрична схема дослід холостого ходу асинхронного електродвигуна з к.з. ротором

Дослід х.х. рекомендуємо починати з подачі на обмотку статора АД підвищеної живлячої напруги, наприклад $U_{10}=1,25U_{1н}$. Після чого напруга поступово знижується до значення $U_{10}=0,25U_{1н}$. Всього знімається 6-8 точок. При цьому контролюються при різних напругах U_{10} значення по фазам струмів I_{10} , потужностей P_{10} і напруг U_{10} . Обов'язково виконується дослід х.х. при номінальному значенні напруги $U_{10}=U_{1н}$ з урахуванням

схеми з'єднання обмоток статора в досліді. Дані вимірювань в досліді х.х. заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані досліді холостого ходу АД з к.з. ротором

№ досліді	U_{1A}	U_{1B}	U_{1C}	U_{10}	I_{1A}	I_{1B}	I_{1C}	I_{10}	P_{1A}	P_{1B}	P_{1C}	P_{10}	ΔP_{e10}	P_0
	В	В	В	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт
1														
⋮														
8														

В таблиці 1 позначено:

U_{10}, I_{10} – середні значення фазної напруги і струму холостого ходу по фазам асинхронного електродвигуна з к.з. ротором;

P_{10} – сумарна потужність холостого ходу асинхронного електродвигуна з к.з. ротором;

ΔP_{e10} – електричні втрати в обмотках статора асинхронного електродвигуна з к.з. ротором на холостому ході;

P_0 – розрахункова потужність асинхронного електродвигуна з к.з. ротором без врахування електричних втрат в обмотках статора на холостому ході.

При цьому

$$U_{10} = \frac{1}{3}(U_{1B} + U_{1C} + U_{1C}); \quad I_{10} = \frac{1}{3}(I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}); \quad (1)$$

$$P_{10} = P_{1A} + P_{1B} + P_{1C}.$$

2.2 Дослід безпосереднього навантаження

Дослід навантаження асинхронного електродвигуна з к.з. ротором проводиться по схемі рисунку 3 з використанням навантажувального ГПС незалежного збудження. Обов'язковою вимогою при виконанні досліді навантаження АД є підтримання незмінності живлячої напруги і частоти мережі рівних номінальним значенням: $U_{1n} = const$ і $f_n = const$.

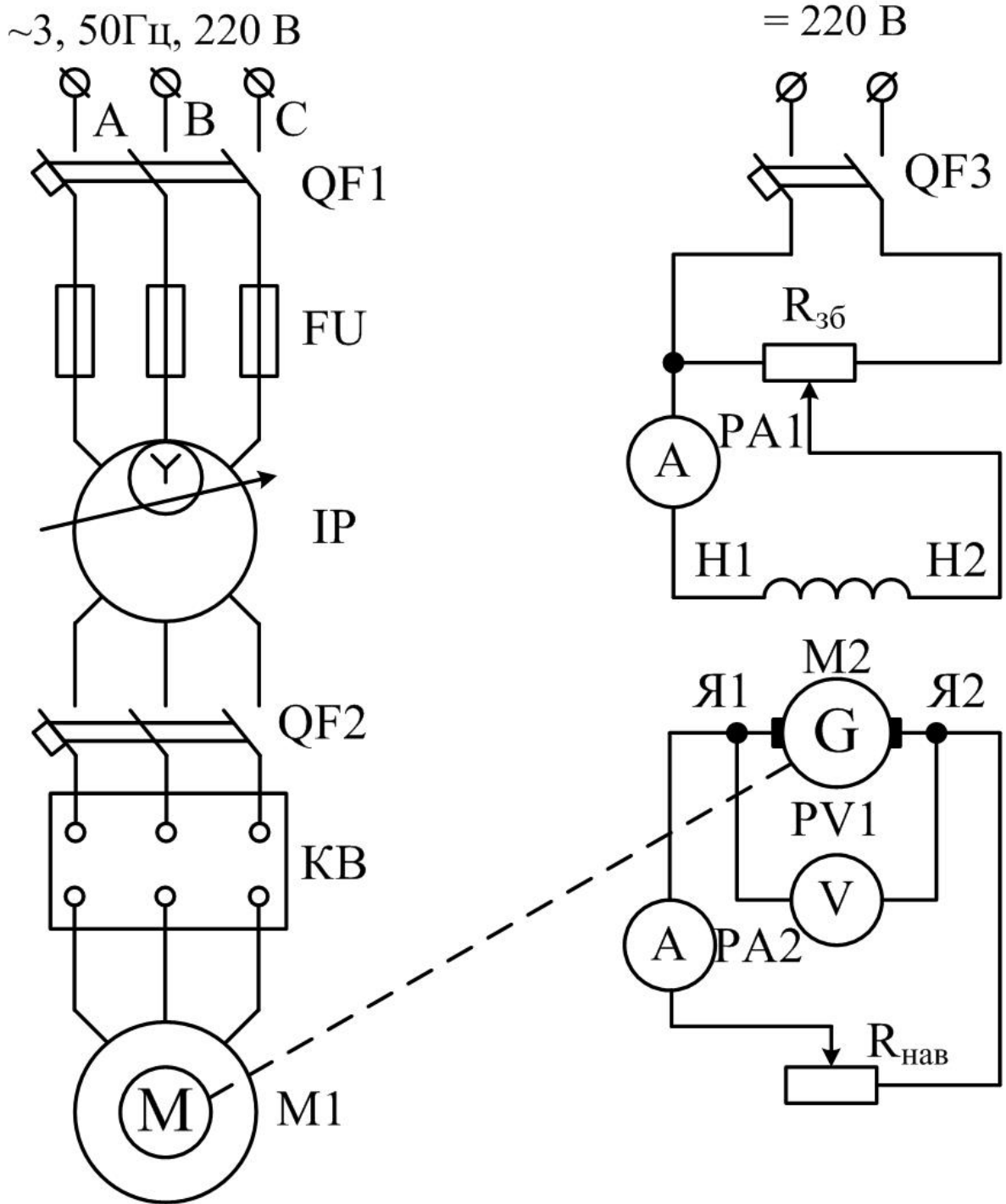


Рисунок 3 – Електрична схема дослідження асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором в режимі навантаження

Спочатку асинхронного електродвигуна з к.з. ротором що досліджується, вмикається в мережу, встановлюється $U_1=U_{1н}$ при відключеному навантажувальному ГПС, тобто на холостому ході і вимірюються струми і потужності по фазам обмотки статора АД, а також частота обертання ротора АД. Після цього підключається навантажувальний ГПС і за допомогою рідинного реостата в ланцюзі обмотки якоря генератора, відбувається навантаження ГПС і асинхронного двигуна до значення струму в обмотці статора рівного $1,25I_{1н}$. Рекомендується знімати 6...8 точок. При кожному значенні струму навантаження АД вимірюються:

- потужності і струми по фазам обмоток статора АД: I_1 і P_1 ;
- частота обертання ротора АД – n ;
- напруга та струм навантажувального ГПС: U_2, I_2 .

Обов'язково проводиться дослід при номінальному навантаженні $I_1=I_{1н}$.

Результати вимірювань і розрахунків заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Дослідні та розрахункові данні дослідження АД з короткозамкненим ротором

№ досліджу	$U_{1н}$	$f_{1н}$	I_{1A}	I_{1B}	I_{1C}	I_1	P_{1A}	P_{1B}	P_{1C}	P_1	U_2	I_2	n
	В	Гц	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	В	А	Об./хв.
1													
...													
8													

продовження таблиці 2

№ досліджу	ΔP_{e1}	P_{em}	s	ΔP_{e2}	ΔP_{δ}	ΔP_{mx}	ΔP_{m2}	ΣP	P_2	$\beta = \frac{P_2}{P_{2н}}$	η
	Вт	Вт	в.о.	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	в.о.	%
1											
...											
8											

В таблиці 2 позначено:

I_1 – середнє значення струму в обмотках статора АД;

P_1 – сумарна потужність, що споживається АД з мережі;

n – частота обертання ротора АД;

U_2, I_2 – напруга і струм ГПС;

P_2, η_2 – потужність і ККД ГПС;

η – ККД АД;

s – ковзання АД.

$\beta = \frac{P_2}{P_{2н}}$ – коефіцієнт завантаження двигуна;

$P_{ем}$ – електромагнітна потужність АД.

$\Delta P_{e1}, \Delta P_{e2}, \Delta P_{\partial}, \Delta P_{мх}, \Delta P_{мг}$ і ΣP – втрати в АД отримані дослідним шляхом.

3 Обробка дослідних даних

3.1 Побудова характеристик потужності х.х. АД по даним досліді х.х. і визначення втрат $\Delta P_{мх}$ і $\Delta P_{мг}$.

Характеристикою потужності х.х. АД називається графічна залежність $P_{10} = f(U_{10})$, при $P_2=0$. Характеристика потужності х.х. може бути побудована по дослідним даним наведеним в таблиці 1. Приблизний вигляд характеристики $P_{10} = f(U_{10})$ представлено на рисунку 4. З метою визначення за допомогою характеристики потужності механічних ($\Delta P_{мх}$) і магнітних втрат ($\Delta P_{мг}$) в АД, необхідно побудувати допоміжну характеристику потужності х.х. $P_0 = f(U_{10})$. При цьому потужність P_0 за даними визначається за рівнянням

$$P_0 = P_{10} - \Delta P_{e10}, \quad (2)$$

де ΔP_{e10} - електричні втрати в обмотках статора на холостому ході, що дорівнює

$$\Delta P_{e10} = 3I_{10}^2 \cdot R_{1\tau0}, \quad (3)$$

де R_{l0} – опір фази обмотки статора при температурі в лабораторії при проведенні дослідів навантаження.

Так

$$P_{10} = \Delta P_{e10} + \Delta P_{mx} + \Delta P_{m2} + \Delta P_{\partial}, \quad (4)$$

то значення потужності визначається

$$P_0 = \Delta P_{mx} + \Delta P_{m2}. \quad (5)$$

Додаткові втрати ΔP_{∂} на х.х. по стандарту входять до складу магнітних втрат ΔP_{m2} .

Приблизний вигляд характеристики $P_0 = f(U_{10})$ також наведено на рисунку 4.

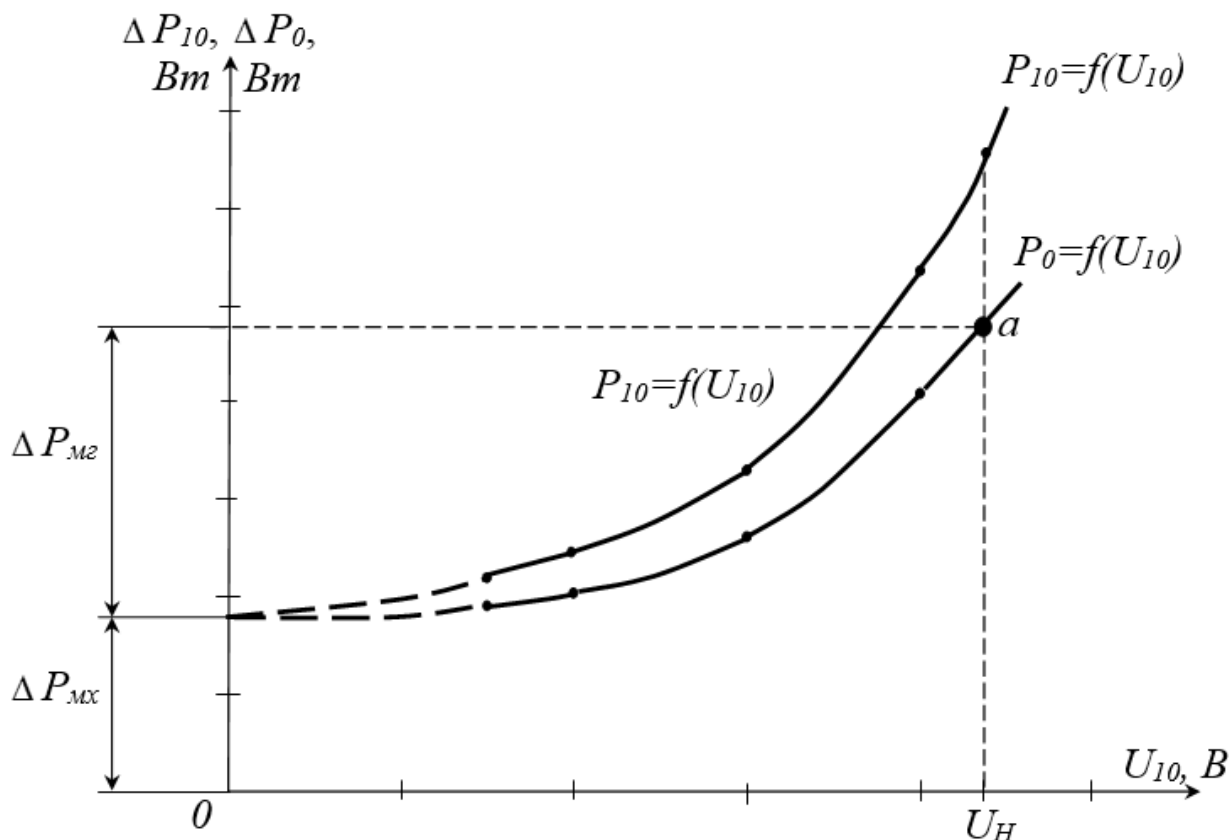


Рисунок 4 – Характеристики потужності холостого ходу АД

Для окремого визначення величини втрат ΔP_{mx} і ΔP_{mz} в АД необхідно графіки потужності $P_{10} = f(U_{10})$ і $P_0 = f(U_{10})$ екстраполювати до перетину з віссю ординат в точці «а», як це показано на рисунку 4. Видно, що відрізок «0а» при $U_{10} = 0$ визначить величину механічних втрат ΔP_{mx} в АД, які є незмінними за величиною. Якщо провести через точку «а» горизонтальну лінію паралельну вісі абсцис, то при значенні $U_{10} = U_{1н}$ можна визначити величину магнітних втрат ΔP_{mz} при номінальній напрузі.

3.2 Розрахунок втрат в АД за даними дослідження навантаження АД

Електричні втрати в обмотках статора асинхронного електродвигуна при робочій температурі

$$\Delta P_{elt_p} = 3I_1^2 \cdot R_{I(75^0 C)}; \quad (6)$$

$$R_{I(75^0)} = R_{I(20^0 C)} \frac{235 + 75}{235 + 20}. \quad (7)$$

Електромагнітна потужність АД згідно енергетичної діаграми приведеної на рисунку 1

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_{elt_p} - \Delta P_{mz}. \quad (8)$$

Електричні втрати в обмотці ротора АД

$$\Delta P_{e2} = s \cdot P_{em}, \quad (9)$$

де s – ковзання двигуна, що дорівнює

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}, \quad n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}. \quad (10)$$

Додаткові втрати в АД у відповідності з стандартом приймається рівним 0,5% від потужності, що споживається двигуном з мережі змінного струму при номінальному навантаженні, тобто

$$\Delta P_{\partial} = 0,005 P_{1н}, \quad (11)$$

де $P_{1н}$ – потужність, що споживається електродвигуном з мережі при номінальному навантаженні (значення взяти з таблиці 2 при $I_1 = I_{1н}$).

Сумарні втрати в АД визначаються за рівнянням (11). У зв'язку з тим, що сумарні втрати в АД при номінальному навантаженні дорівнюють $\Sigma P_{н} = P_{1н} - P_{н}$, можна отримати рівняння сумарних втрат в наступному виді

$$\Sigma P_{н} = P_{н} \frac{1 - \eta_{н}}{\eta_{н}}. \quad (12)$$

Рівняння (11) широко використовується на практиці. Всі дані розрахунків заносяться до таблиці 2.

3.3 Побудова графіку ККД АД

Графіком ККД АД називається графічна залежність $\eta = f(\beta)$. Для побудови графіку ККД за даними досліду навантаження необхідно визначити корисну потужність АД при різних значеннях струму навантаження

$$P_2 = P_1 - \Sigma P, \quad (13)$$

і коефіцієнт завантаження двигуна

$$\beta = \frac{P_2}{P_{2н}}. \quad (14)$$

Далі проводиться розрахунок ККД АД за рівняннями

$$\eta = \frac{P_2}{P} \cdot 100 \quad \text{або} \quad \eta = \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_1}\right) \cdot 100. \quad (15)$$

За даними розрахунків слід побудувати графік ККД двигуна $\eta = f\left(\beta = \frac{P_2}{P_{2н}}\right)$.

Звичайно максимальний ККД АД з к.з. ротором досягається при завантаженні 60-70% від номінальної потужності P_n , тобто при коефіцієнті завантаження $\beta = 0,6 - 0,7$. Умовою отримання максимального ККД є рівність постійних та змінних втрат в АД.

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричні схеми дослідів х.х. та навантаження АД, що наведені на рисунках 2 та 3.

4.2 Дослідні та розрахункові дані длслідження АД, отримані в дослідах х.х. та навантаження у вигляді таблиць 1 та 2.

4.3 Характеристики потужності х.х. з визначенням механічних та магнітних втрат в АД.

4.4 Графічну залежність ККД АД від потужності на валу P_2 розраховану та побудовану по методу окремих втрат АД.

4.5 Відсотковий вміст кожного виду втрат від сумарних втрат в АД при номінальному навантаженні.

4.6 Аналіз отриманих результатів, в яких необхідно обов'язково привести відсотковий вміст кожного виду втрат в АД від сумарних втрат, а також значення коефіцієнту завантаження АД (β_m), при якому ККД двигуна максимальний (η_{max}).

5 Контрольні питання

5.1 Привести і пояснити енергетичну діаграму активної потужності асинхронного електродвигуна з к.з. ротором.

5.2 Які види втрат виникають при роботі асинхронного електродвигуна з к.з. ротором? Де вони виникають і їх фізичний смисл?

5.3 Що розуміють під ковзанням асинхронного електродвигуна з к.з. ротором? Приблизна величина ковзання АД при номінальному навантаженні.

5.4 Які втрати в асинхронному електродвигуні з к.з. ротором відносять до постійних втрат?

5.5 Які втрати в асинхронному електродвигуні з к.з. ротором відносять до змінних втрат?

5.5 Які втрати в асинхронному електродвигуні з к.з. ротором і як можна визначити по дослідній характеристиці холостого ходу АД?

5.6 Які втрати в асинхронному електродвигуні з к.з. ротором і як можна визначити по даним досліді безпосереднього навантаження?

5.7 Поясніть методику проведення досліді безпосереднього навантаження асинхронного електродвигуна з к.з. ротором.

5.8 Як дослідним шляхом визначається корисна потужність на валу асинхронного електродвигуна з к.з. ротором?

5.9 Яку потужність АД називають корисною потужністю на валу асинхронного електродвигуна з к.з. ротором?

5.10 Що представляє собою електромагнітна потужність асинхронного електродвигуна з к.з. ротором? Як ця потужність визначається дослідним шляхом?

Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ ПРИ ЖИВЛЕННІ ВІД ОДНОФАЗНОЇ МЕРЕЖІ

Мета роботи

Ознайомлення зі схемами включення, енергетичними показниками і робочими властивостями трифазного АД при його живленні від однофазної мережі.

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Проробити по рекомендованій літературі [1-5] теоретичний і практичний матеріал, що стосується принципу створення обертового магнітного поля в машинах змінного струму, способів та схем включення і робочих властивостей трифазних АД при живленні від однофазної мережі.

1.2 По даним рекомендаціям а також іншій учбовій літературі [6,11] детально ознайомитися зі схемами включення і методикою зняття робочих характеристик трифазного АД при живленні від однофазної мережі змінного струму.

1.3 Усно відповісти на контрольні питання до даної лабораторної роботи.

1.4 Підготувати бланк звіту по лабораторній роботі встановленої форми з наведенням електричних схем випробування АД і таблиць для запису дослідних та розрахункових даних.

1.5 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням в лабораторії електричних машин. Записати тип і номінальні дані дослідного АД, а також типи обраних для проведення дослідів вимірювальних приладів.

1.6. Зняти робочі характеристики трифазного АД з к.з. ротором при його включенні в однофазну мережу по конденсаторній схемі та по схемі з пусковою обмоткою.

1.7. За даними дослідів побудувати робочі характеристики АД при двох схемах включення. Провести аналіз характеристик і

порівняльну оцінку основних енергетичних показників (η_n , $\cos\varphi_n$, P_n , M_n) трифазного АД при живленні від однофазної мережі

1.8 Оформити звіт по лабораторній роботі згідно вимог.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Зняття робочих характеристик АД при включенні по конденсаторній схемі.

Робочі характеристики трифазного АД з к.з. ротором представляють собою графічні залежності потужності що споживається (P_1), струму статора (I_1), частоти обертання (n), обертового електромагнітного моменту (M), корисного моменту (M_2), коефіцієнту корисної дії (η), коефіцієнту потужності ($\cos\varphi_1$) і ковзання (s) від корисної потужності на валу двигуна (P_2) при номінальній напрузі, що підводиться до обмотки статора (U_{1n}) і номінальній частоті струму живлячої мережі (f_n), тобто

$$P_1, I_1, n, M, M_2, \eta, \cos\varphi_1 \text{ та } s = f(P_2),$$

при $U_{1n} = \text{const}$ і $f_n = \text{const}$.

Зняття робочих характеристик АД проводиться по методу безпосереднього навантаження на валу двигуна за схемою рисунку 1,а. В якості навантажувального пристрою для АД в лабораторних умовах використовується генератор постійного струму (ГПС) незалежного збудження, вал якого механічно зв'язаний з валом дослідного АД.

Дослід проводиться за електричною схемою рисунку 1,а при відключенні після пуску двигуна пускової ємності C_n . Робочі характеристики знімаються в наступній послідовності. Після пуску АД і відключення пускової ємності C_n записуються показання вимірювальних приладів в режимі холостого ходу, тобто без навантаження на валу АД. Після цього навантажувальний ГПС збуджується і встановлюється напруга на затискачах генератора $U_2 = U_n$ і за допомогою навантажувального рідинного реостата плавно навантажують ГПС і контролюють навантаження АД по величині струму статора. В досліді навантаження, струм навантаження асинх-

ронного двигуна слід змінювати в межах від $I_1=I_{10}$ до $I_1=(1,1\dots 1,2)I_{1н}$. При цьому напруга на затискачах АД підтримується $U_1=const$ і струм збудження ГПС $I_{3\phi}=const$. Рекомендується знімати 6...8 точок. Обов'язково проводиться дослід при номінальному струмі навантаження АД $I_1=I_{1н}$.

Результати вимірювань і розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Данні дослідів навантаження при включенні АД за конденсаторною схемою

№ дослідів	Дослідні дані				Розрахункові дані									
	U_1	I_1	P_1	n	U_2	I_2	P_2	η_2	P_2	Ω	M_2	M	η_{∂}	$\cos\varphi_1$
	В	А	Вт	об/хв	В	А	Вт	в.о.	Вт	рад/с	Н·м	Н·м	%	в.о.
1														
...														
8														

2.2 Зняття робочих характеристик АД при включенні по схемі з пусковою обмоткою.

Дослідження АД проводиться за електричною схемою рисунку 1, б при відключенні після пуску пускової обмотки (П) і пускового конденсатора C_n . Методика зняття робочих характеристик аналогічна описаній в п. 2.1. Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Данні дослідів навантаження при включенні АД за схемою з пусковою обмоткою

№ дослідів	Дослідні дані				Розрахункові дані									
	U_1	I_1	P_1	n	U_2	I_2	P_2	η_2	P_2	Ω	M_2	M	η_{∂}	$\cos\varphi_1$
	В	А	Вт	Об./хв.	В	А	Вт	в.о.	Вт	Рад/с.	Н·м	Н·м	%	в.о.
1														
...														
8														

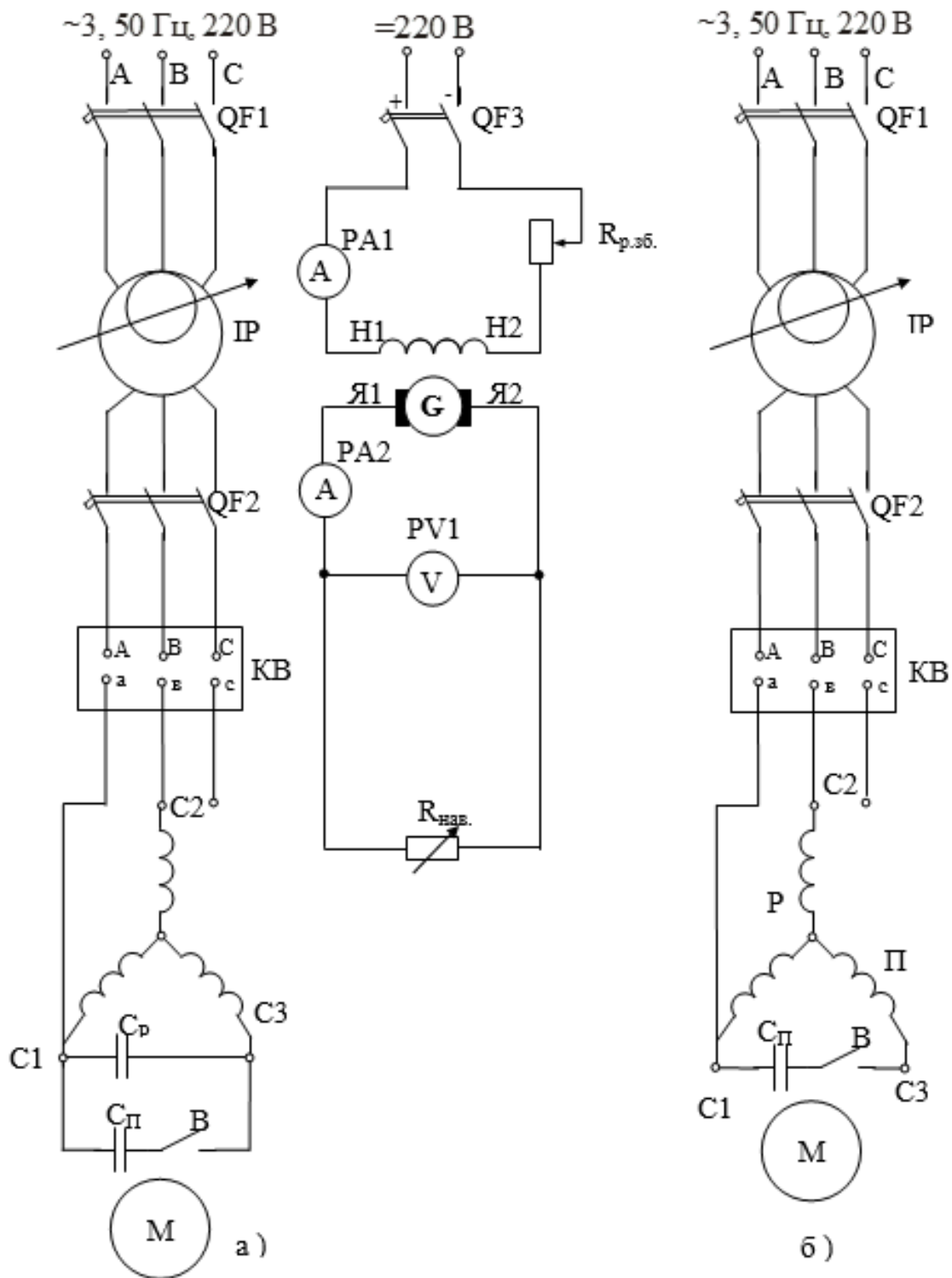


Рисунок 1 – Принципіальна електрична схема дослідження трифазного АД при живленні від однофазної мережі.
а) – включення АД за конденсаторною схемою; б) – включення АД за схемою з пусковою обмоткою.

2.3 Обробка дослідних даних

Необхідні розрахунки виконуються по наступним рівнянням.

Корисна потужність ГПС

$$P_2 = U_2 \cdot I_2, \quad (1)$$

де U_2 – напруга на затискачах генератора, В;

I_2 – струм навантаження генератора, А.

Корисна потужність на валу АД

$$P_2 = \frac{P_2}{\eta_2}, \quad (2)$$

де η_2 – ККД ГПС, в.о. Визначається по графіку $\eta_2 = f(I_2 / I_{2н})$ для різних значень відносного струму завантаження ГПС (рис. 2).

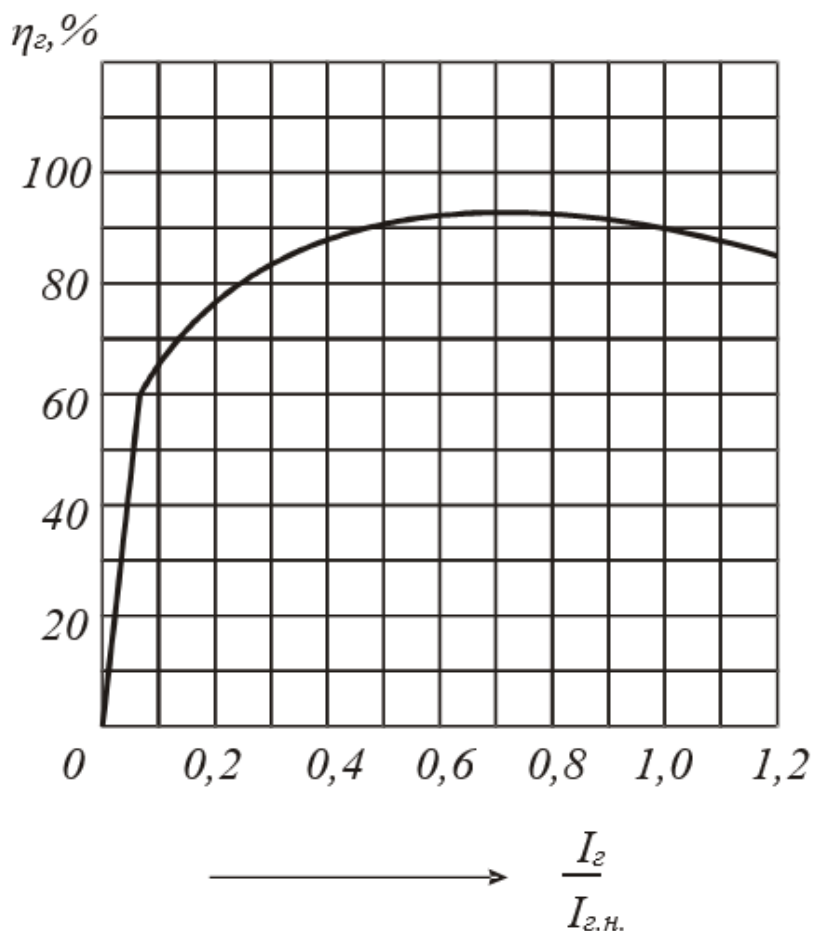


Рисунок 2 – Графік ККД навантажувального ГПС

ККД двигуна

$$\eta_{\partial} = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100. \quad (3)$$

Корисний момент на валу двигуна

$$M_2 = \frac{P_2}{\Omega}, \quad \Omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (4)$$

де Ω – кутова швидкість обертання АД, рад/с.

Момент холостого ходу АД

$$M_0 = \frac{P_0}{\Omega_0}, \quad (5)$$

де P_0 , Ω_0 – потужність та кутова швидкість х.х. АД, Вт, рад/с. (Зазначено в таблицях дослідних даних при відсутності навантаження на валу АД).

Обертовий електромагнітний момент АД

$$M = M_0 + M_2. \quad (6)$$

Коефіцієнт потужності двигуна

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}, \quad (7)$$

де U_1 – напруга, що підводиться до обмотки статора АД, В;
 I_1 – струм статора АД, А.

Номінальне ковзання АД

$$s_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1} \cdot 100, \quad (8)$$

де n_1 – частота обертання магнітного поля статора АД, об./хв.;
 n – номінальна частота обертання ротора АД, об./хв.;

При цьому

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \quad (9)$$

де f_1 – частота живлячої мережі, Гц;
 p – число пар полюсів АД.

Робоча ємність в схемах на рисунках 1 і 2

$$C_p \cong 2800 \frac{I_{1н}}{U_{1н}}, \quad (10)$$

де $I_{1н}$ – номінальний струм статора АД, А;
 U_1 – номінальна напруга живлячої мережі, В.

Пускова ємність

$$C_n = (2...3) C_p. \quad (11)$$

По дослідним та розрахунковим даним наведеним в таблицях 1 і 2 на окремих рисунках слід побудувати робочі характеристики АД при включенні в однофазну мережу по конденсаторній схемі і схемі з пусковою обмоткою і пусковою ємністю.

При побудові характеристик особливу увагу приділяють вибору масштабів на вісях ординат всіх величин $P_1, I_1, n, M, M_2, \eta, \cos\varphi_1, s$ та по вісі абсцис (P_2), з тим щоб робочі характеристики АД мали звичайний вигляд. При цьому для зручності порівняльної оцінки енергетичних та інших показників трифазного АД при живленні від однофазної мережі по двом схемам, масштаби одних і тих же величин по вісям координат робочих характеристик слід обирати однаковими.

3 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

3.1 Електричні схеми дослідів при включенні трифазного АД в однофазну мережу, що наведені на рисунку 1, а і 1, б.

3.2 Дослідні та розрахункові дані в вигляді таблиць 1, 2.

3.3 Рівняння (1-11) для розрахункового визначення величин.

3.4 Робочі характеристики АД при двох схемах включення трифазного АД в однофазну мережу живлення.

3.5 Технічну характеристику дослідного АД та іншого обладнання та приладів, що використовувались в досліді.

3.6 Аналіз отриманих результатів з зазначенням основних властивостей трифазного АД при живленні від однофазної мережі.

4 Контрольні питання

4.1 В чому складається принцип утворення обертового магнітного поля в машинах змінного струму?

4.2 Як забезпечується утворення обертового магнітного поля статора і початкового пускового моменту в трифазних АД при їх живленні від однофазної мережі?

4.3 Як включається трифазний АД в однофазну мережу по схемі з пусковою обмоткою?

4.4 Як включається трифазний АД в однофазну мережу по конденсаторній схемі?

4.5 Чи буде працювати трифазний АД, якщо відбудеться обрив однієї з фаз, тобто в неповнофазному режимі?

4.6 З якою метою при включенні трифазного АД в однофазну мережу використовують дві ємності – пускову та робочу?

4.7 Поясніть послідовність пуску трифазного АД при включенні в однофазну мережу по конденсаторній схемі.

4.8 Поясніть послідовність пуску трифазного АД при включенні в однофазну мережу по схемі з пусковою обмоткою.

4.9 Які графічні залежності називають робочими характеристиками АД?

4.10 Поясніть методику зняття робочих характеристик трифазного АД при його живленні від однофазної мережі?

4.11 Як змінити напрямок обертання трифазного АД при живленні від однофазної мережі?

4.12 Як впливає відсутність однієї фази живлення на величину корисного моменту трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором?

Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Мета роботи

Ознайомлення з особливостями роботи асинхронних генераторів, вивчення їх робочих характеристик та основних властивостей в режимі навантаження

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Опрацювати та засвоїти по рекомендованій літературі [1-4, 8] теоретичний матеріал що стосується властивостей асинхронних генераторів з к.з. ротором при їх роботі на мережу та на власне навантаження. Уміти пояснити вид робочих характеристик асинхронних генераторів при паралельній роботі з мережею та асинхронних генераторів з самозбудженням.

1.2 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням в лабораторії електричних машин. Записати тип і номінальні дані досліджуваного асинхронних генераторів і регулятора напруги, а також типу обраних для проведення дослідів навантаження вимірних приладів і тахогенератора.

1.3 Зняти та побудувати робочі характеристики трифазного асинхронних генераторів з незалежним збудженням при роботі паралельно з мережею.

1.4 Зняти та побудувати робочі характеристики асинхронних генераторів з самозбудженням при роботі на власне автономне навантаження.

1.5 Провести аналіз робочих характеристик асинхронних генераторів та визначити їх основні експлуатаційні властивості при двох способах збудження.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Отримання робочих характеристик асинхронного генератора з незалежним збудженням, включеного на паралельну роботу з мережею

В якості асинхронного генератора як правило використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим або фазним ротором, які випускаються промисловістю. Для того, щоб перевести асинхронний двигун, що є включеним до мережі в режим асинхронного генератора, необхідно його ротор обернути первинним двигуном в напрямку обертання магнітного поля статора в режимі асинхронного двигуна із швидкістю більшою швидкості обертання магнітного поля машини (n_1). При цьому ковзання приймає знак «мінус» і асинхронна машина перейде в режим асинхронного генератора. В режимі асинхронного генератора відбувається перетворення механічної енергії, що підводиться від первинного двигуна в електричну, що віддається в мережу змінного струму.

Робочими характеристиками асинхронного генератора при його паралельній роботі з мережею є графічні залежності струму статора I_1 , механічної потужності що підводиться до генератора P_1 , коефіцієнта потужності $\cos\varphi_1$, коефіцієнта корисної дії η_2 та ковзання s від корисної потужності P_2 , яку віддає генератор в мережу при постійному значенні напруги мережі U_1 та незмінної частоти f_1 , тобто

$$P_1, I_1, \eta_2, \cos\varphi_1, s = f(P_2), \text{ при } U_{1н} = \text{const і } f_{1н} = \text{const.} \quad (1)$$

Для зняття характеристик необхідно зібрати електричну схему, що представлена на рисунку 1.

В якості первинного двигуна при дослідженні асинхронного генератора в умовах лабораторії використовується двигун постійного струму (ДПС) змішаного збудження. Дослід проводиться в наступній послідовності. Окремим пуском первинного ДПС та асинхронного двигуна, який використовується в якості асинхронного генератора, перевіряється напрямки їх обертання. Необхідно забезпечити однаковий напрямок обертання асинхронної машини і ДПС.

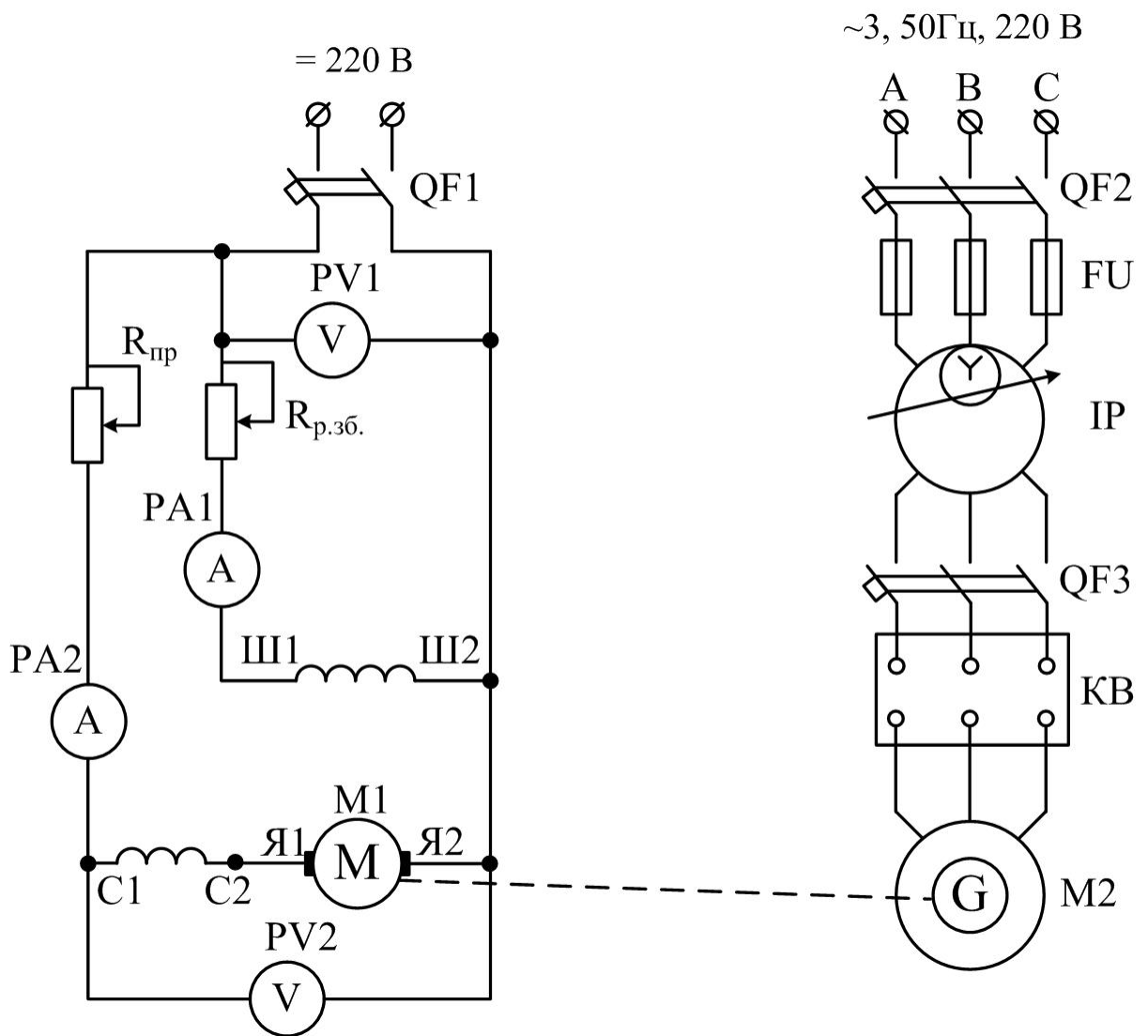


Рисунок 1 – Принципова електрична схема дослідження асинхронного генератора, що працює паралельно з мережею

Після перевірки ДПС і асинхронного генератора відключаються від мережі. Після цього вмикається первинний ДПС і ротор асинхронного генератора приводиться в обертання зі швидкістю близькою до синхронної, після чого обмотка статора асинхронного генератора включається до мережі змінного струму. Змінюючи швидкість обертання ДПС за допомогою реостату в ланцюзі обмотки якоря або обмотки збудження, домагаються щоб показання ватметрів вимірювального комплексу дорівнювались нулю. Це відпо-

відає режиму, коли швидкість обертання ротора асинхронного генератора дорівнює швидкості магнітного поля статора ($n=n_1$) і $s=0$. Необхідно записати показання приладів, які контролюють швидкість обертання n , величину струму I_1 в обмотках статора, напругу U_∂ і струм I_∂ ДПС. Ці данні визначають перші точки робочих характеристик асинхронного генератора.

Потім поступово збільшується за допомогою ДПС швидкість обертання ротора асинхронного генератора більше синхронної, тобто $n > n_1$, відбувається завантаження асинхронного генератора активною потужністю. Величина завантаження асинхронного генератора контролюється по струму статора, який повинен знаходитись в межах від $I_1=I_0$ до $I_1=1,2I_{1н}$. В цьому діапазоні зміни навантаження записуються показання приладів, що контролюють швидкість, напруги і струми асинхронного генератора та ДПС для 5-6 значень струму I_1 і активної потужності P_2 асинхронного генератора. Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Данні дослідження асинхронного генератора при паралельній роботі з мережею

$U_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ В, $f_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ Гц

№ дослідю	Дослідні дані											Розрахункові дані						
	I_{1A}	I_{1B}	I_{1C}	I_1	P_{2A}	P_{2B}	P_{2C}	P_2	n	U_∂	I_∂	P_∂	η_2	P_1	$\cos\varphi_1$	s	η_2	
	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	об./хв.	В	А	Вт	в.о.	Вт	в.о.	%	%	
1																		
...																		
6																		

В таблиці 1 позначено:

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_{1A} + I_{1B} + I_{1C}); \quad P_2 = P_{2A} + P_{2B} + P_{2C}. \quad (10.2)$$

2.2 Отримання робочих характеристик асинхронного генератора з самозбудженням.

Умовами самозбудження таких генераторів:

- обертання ротора з деякою швидкістю;
- наявність магнітного потоку залишкового намагнічування в осерді ротора;
- наявність підключених до затисків обмотки статора асинхронного генератора батареї конденсаторів визначеної ємності.

Робочими характеристики асинхронного генератора з самозбудженням є графічні залежності струму статора I_1 , струму навантаження $I_{нав}$, струму конденсаторної батареї I_c , напруги U_1 , коефіцієнта корисної дії АГ η_2 та ковзання s від корисної потужності P_2 , яку віддає генератор до навантаження, при постійному значенні частоти f_1 та незмінній ємності конденсаторів, тобто

$$P_1, I_1, I_{нав}, I_c, U_1, \eta_2, s = f(P_2), \text{ при } f_{1н} = const \text{ та } C = const. \quad (3)$$

Робочі характеристики АГ з самозбудженням знімаються за схемою рисунку 2 в наступній послідовності. Первинним двигуном постійного струму ротор генератора приводиться до обертання зі швидкістю, необхідною для самозбудження АГ при заздалегідь розрахованій та включеній паралельно обмотці статора батареї конденсаторів. Після збудження ненавантаженого АГ до напруги, величина якої залежить від ємності конденсаторів, та при номінальному значенні частоти $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$, отримують перші точки робочих характеристик генератора з контролем струмів та інших величин. Потім не змінюючи величини встановленої ємності батареї конденсаторів та підтримуючи частоту незмінною, генератор поступово навантажується симетричним активним навантаженням, яке контролюється по величині струму I_1 в обмотках статора АГ до його саморозмагнічування та різкого зниження на-

пруги на затисках АГ. При цьому необхідно відключити навантаження від затисків генератора. В якості активного навантаження генератора використовується трифазний рідинний реостат. В режимі холостого ходу АГ знову самозбуджується і напруга відновлюється до номінального значення. В процесі дослідів знімається 5-6 точок. Результати вимірювань та розрахунків заносять до таблиці 2.

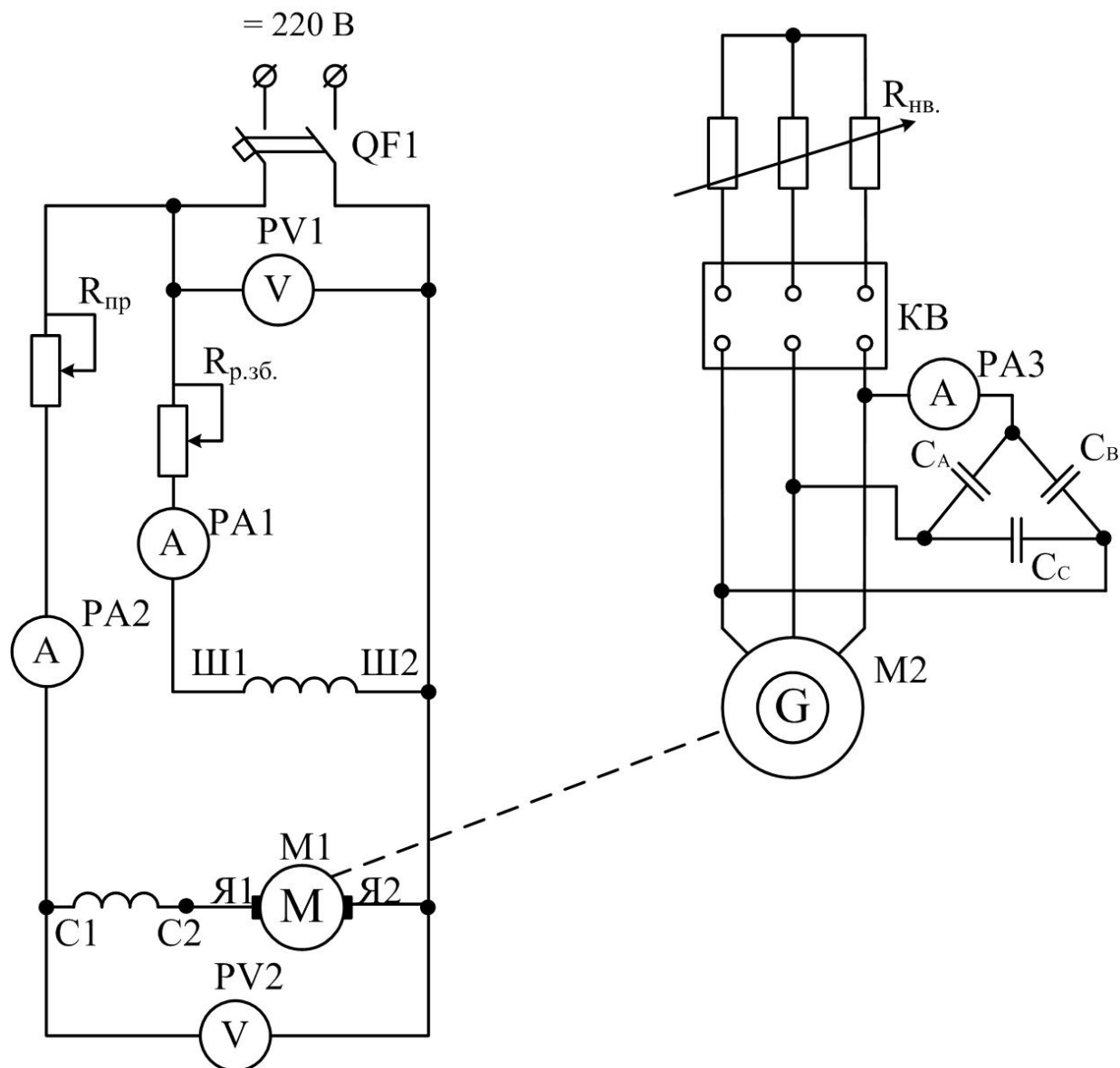


Рисунок 2 – Принципова електрична схема дослідження асинхронного генератора з самозбудженням

Таблиця 2 – Данні дослідження асинхронного генератора з самозбудженням

№ досліджу	Дослідні дані														Розрахункові дані			
	U_1	I_A	I_B	I_C	I_1	I_c	$I_{нв}$	P_A	P_B	P_C	P_2	n	U_∂	I_∂	P_∂	η_∂	P_1	s
	В	А	А	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	об./хв.	В	А	Вт	в.о.	Вт	%
1																		
...																		
6																		

3 Обробка даних дослідів навантаження

Необхідні розрахунки виконуються по наступним формулам.

Потужність, що споживається первинним двигуном постійного струму з мережі

$$P_\partial = U_\partial \cdot I_\partial, \quad (4)$$

де U_∂ – напруга на затисках двигуна постійного струму, В;

I_∂ – струм двигуна постійного струму, А.

Механічна потужність, що підводиться до АГ від первинного двигуна

$$P_1 = P_\partial \cdot \eta_\partial, \quad (5)$$

де η_∂ – ККД двигуна при даному струмі навантаження, в.о. Визначається по попередньо знятій кривій графіку ККД $\eta_\partial = f(I_\partial / I_{\partialн})$, представленою на рисунку 3.

Коефіцієнт потужності асинхронного генератора, що працює паралельно з мережею

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_2}{3 \cdot U_1 \cdot I_1}. \quad (6)$$

ККД асинхронного генератора

$$\eta_e = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100. \quad (7)$$

Величина ємності батареї конденсаторів на одну фазу може бути розраховано за рівнянням

$$C_\phi = \frac{Q_C \cdot 10^6}{m_1 \cdot 2\pi \cdot f_1 \cdot U_C^2}, \quad (8)$$

де Q_C – реактивна потужність конденсаторів, вар;

m_1 – число фаз асинхронного генератора;

f_1 – частота мережі ($f_1 = 50 \text{Гц}$);

U_C – напруга, на величину якої включається ємність ($U_C = U_1$);

При цьому

$$Q_C = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_0, \quad (9)$$

де I_0 – струм, що намагнічує, величина якого визначається за даними досліду таблиці 1 в точці х.х. $I_1 = I_0$ при $P_2 = 0$.

Для перевірки величина C_ϕ може бути визначена за паспортними даними асинхронного двигуна, що використовується в якості асинхронного генератора

$$C_\phi = \frac{P_n \cdot \text{tg}\varphi_n \cdot 10^6}{m_1 \cdot 2\pi \cdot f_1 \cdot U_C^2 \cdot \eta_n}, \quad (10)$$

де P_n – номінальна потужність асинхронного двигуна;

$\text{tg}\varphi_n$ – визначається по $\cos\varphi_n$ асинхронного двигуна;

η_n – номінальний ККД асинхронного двигуна.

Якщо навантаження асинхронного генератора з самозбудженням споживає реактивну потужність, то розрахункова потужність до C_ϕ повинна бути збільшена на величину, яка відповідає реактивній потужності, що споживається навантаженням.

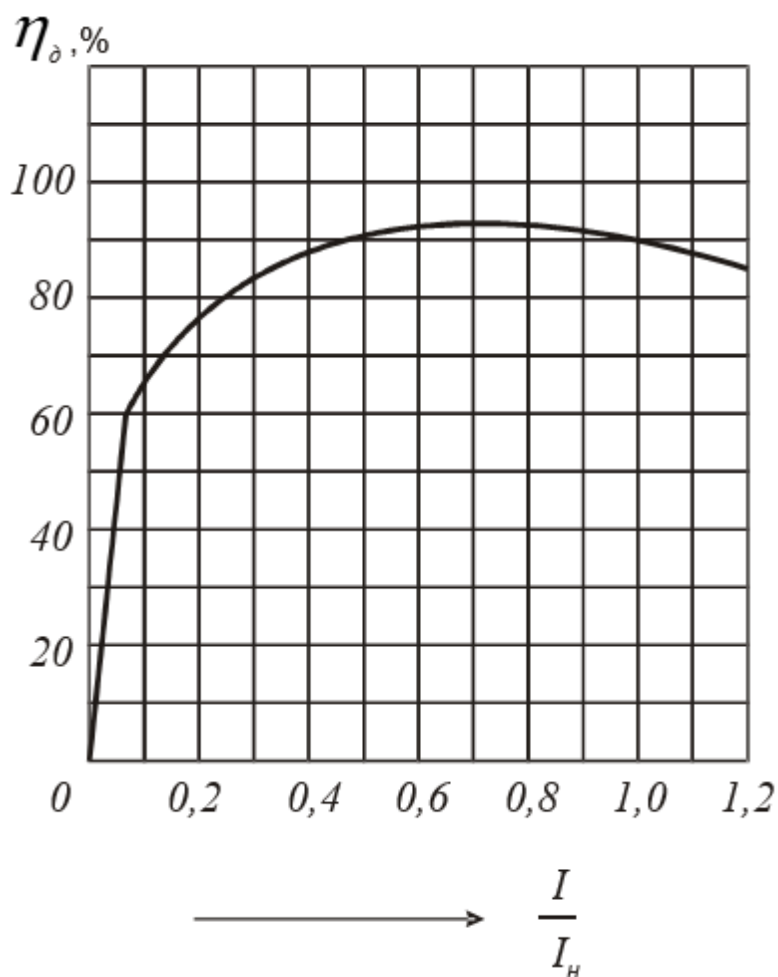


Рисунок 3 – Графік ККД первинного двигуна постійного струму

Ковзання асинхронного генератора

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100, \quad (11)$$

де n_1 – частота обертання магнітного поля асинхронної машини;

n – частота обертання ротора.

Робочі характеристики будуються за даними наведеними в таблицях 1 та 2. в масштабі.

Приблизний вид робочих характеристик асинхронного генератора при паралельній роботі з мережею наведено на рисунку 4, а приблизний вид робочих характеристик асинхронного генератора із самозбудженням наведено на рисунку 5.

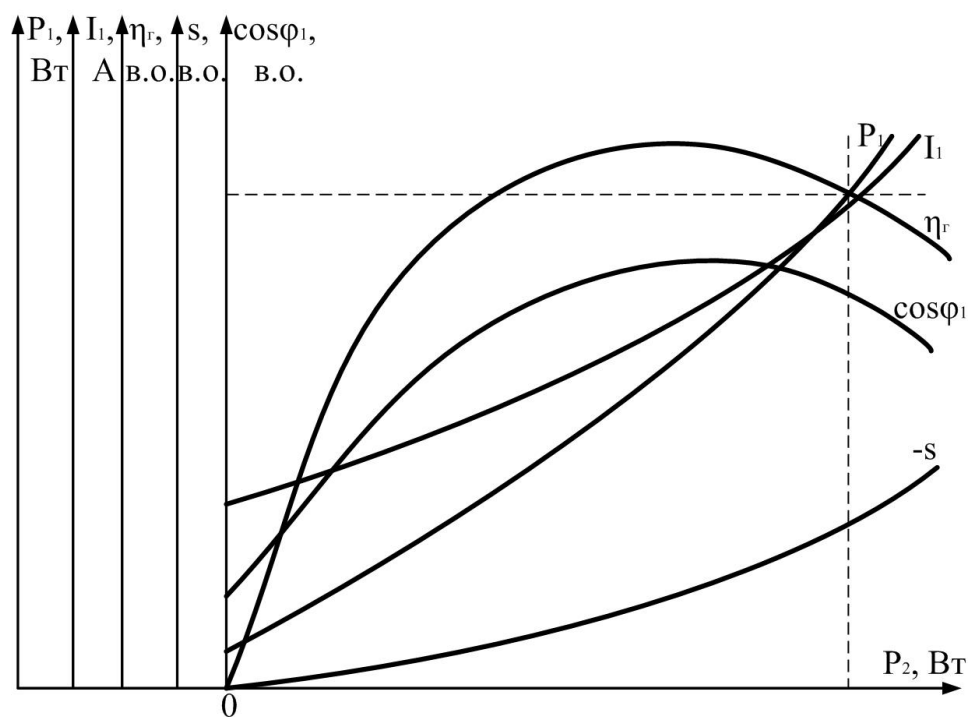


Рисунок 4 – Робочі характеристики асинхронного генератора при паралельній роботі з мережею

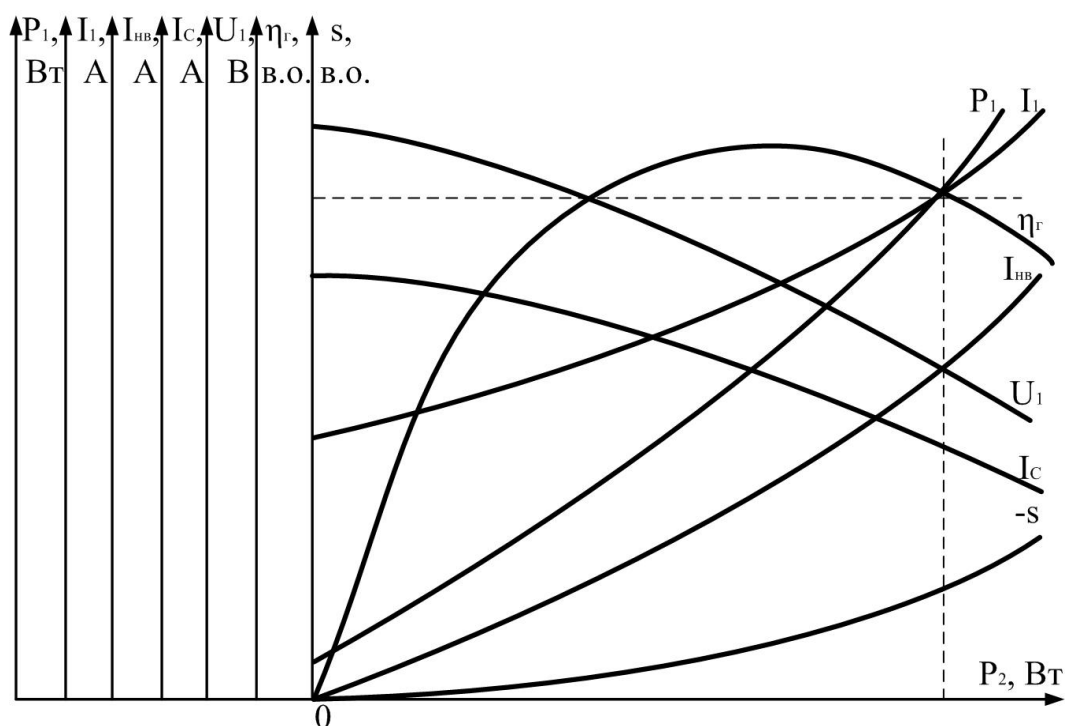


Рисунок 5 – Робочі характеристики асинхронного генератора із самозбудженням

4 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

4.1 Електричні схеми дослідження асинхронного генератора, що працює паралельно з мережею та асинхронного генератора з самозбудженням, що наведені на рисунках 1 та 2.

4.2 Дослідні та розрахункові дані робочих характеристик асинхронного генератора, отримані дослідним та розрахунковим шляхом в вигляді таблиць 1 та 2.

4.3 Формули для розрахункового визначення величин (4) – (11).

4.4 Робочі характеристики асинхронного генератора з при роботі паралельно з мережею змінного струму і асинхронного генератора з самозбудженням при роботі на автономне навантаження.

4.5 Технічну характеристику дослідного асинхронного генератора та іншого обладнання і приладів, що були використані при дослідженні асинхронного генератора.

4.6 Аналіз отриманих результатів по роботі з поясненням виду робочих характеристик асинхронного генератора при різних режимах навантаження, а також основних властивостей асинхронного генератора в режимах навантаження.

5 Контрольні питання

5.1 Поясніть принцип дії АГ. Поняття та величина ковзання асинхронного генератора.

5.2 Особливості принципу роботи асинхронного генератора.

5.3 Назвіть види асинхронних генераторів за способом збудження.

5.4 В чому сутність паралельної роботи асинхронного генератора з мережею?

5.5 Як перевести трифазний асинхронний двигун в режим асинхронного генератора для роботи паралельно з мережею?

5.6 Як збільшити величину активної потужності, що віддається асинхронним генератором в мережу при його роботі паралельно з мережею змінного струму?

5.7 Як визначити величину реактивної потужності необхідної для збудження асинхронного генератора, що працює паралельно з мережею?

5.8 Чи залежить частота електричної енергії, що виробляється асинхронним генератором, який працює паралельно з мережею, від швидкості обертання первинного двигуна?

5.9 Які залежності називаються робочими характеристиками асинхронного генератора, який працює паралельно з мережею?

5.10 Назвіть умови самозбудження та поясніть процес самозбудження асинхронного генератора, що працює на власне автономне навантаження.

5.11 Як визначити ємність конденсаторної батареї, необхідну для роботи асинхронного генератора з самозбудженням?

5.12 Які залежності називаються робочими характеристиками асинхронного генератора з самозбудженням?

5.13 Поясніть причину зниження напруги на затискачах асинхронного генератора з самозбудженням при зростанні навантаження.

5.14 Чи залежить частота електричної енергії, що виробляється асинхронного генератора з самозбудженням, від зміни швидкості обертання первинного двигуна?

Лабораторна робота

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ СИНХРОННИХ МАШИН З ВИМІРЮВАННЯМ ОПОРУ ОБМОТОК ЯКОРЯ ТА ЗБУДЖЕННЯ

Мета роботи

Засвоєння будови трифазних синхронних машин загально-промислового виконання

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Детально засвоїти будову явнополюсної та неявнополюсної синхронних машин (СМ). [1, с. 622-630]

1.2 Докладно розібратися і знати: [1, с. 357-362; 3, 165-168; 6, с. 339-350; 446-448; 7, с. 549-553; 555-559; 9, с. 90-125]

- будову і матеріал виготовлення статора та обмотки статора або якоря СМ;

- будову і матеріал виготовлення елементів конструкції обмотки збудження та неявнополюсного ротора СМ;

- будову і матеріал виготовлення елементів конструкції обмотки збудження та явнополюсного ротора СМ;

- призначення і будову системи збудження СМ;

- будову і матеріал виготовлення заспокійливої (демпферної) обмотки та пускової обмотки на роторі явнополюсної СМ ;

- будову і матеріал виготовлення полюсів явнополюсної СМ. З якою метою повітряний зазор під полюсами виконується нерівномірним, а ширина полюса менша полюсної поділки;

- призначення та матеріал виготовлення полюсних башмаків на полюсах явно полюсної СМ. Яким чином утворюються полюси на роторі явнополюсної СМ;

- призначення та будову контактних кілець і щіткового апарата СМ;

- приблизну величину повітряного зазору СМ малої та середньої потужностей;

- структуру умовного позначення обмоток статора і ротора СМ.

1.3 Ознайомитися із структурою умовного позначення типу СМ.

2 Основні теоретичні положення

2.1 Загальні відомості про СМ

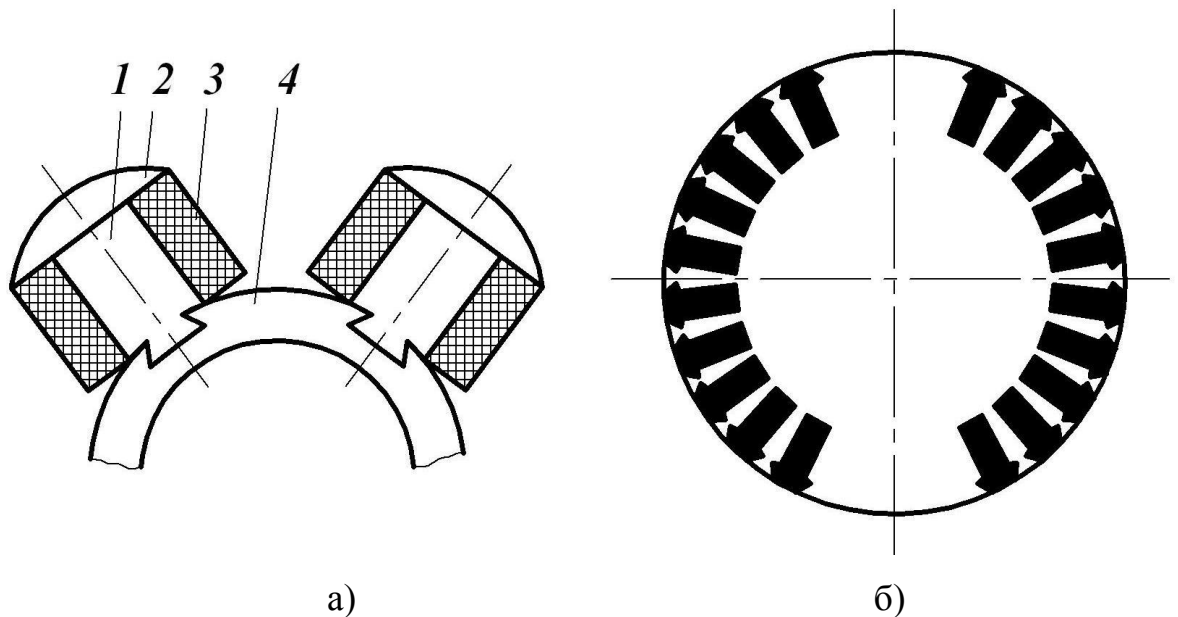
Синхронні машини – це безколекторні машини змінного струму. За своєю конструкцією вони відрізняються від асинхронних машин лише конструкцією ротора, який може бути явнополюсним або неявнополюсним. Що ж до властивостей, то синхронні машини відрізняються синхронною частотою обертання ротора ($n_2=n_1=\text{const}$) при будь-якому навантаженні, а також можливістю регулювання коефіцієнта потужності, встановленням такого його значення, при якому робота синхронної машини стає найбільш ефективною і економічною. Синхронні машини зворотні і можуть працювати як в режимі генератора, так і в режимі двигуна. Синхронні генератори складають основу електротехнічного устаткування електростанцій, тобто практично вся електроенергія виробляється синхронними генераторами. Одиначна потужність сучасних синхронних генераторів досягає мільйона кіловат і більше. Синхронні двигуни застосовуються головним чином для приводу пристроїв великої потужності. У великих електроенергетичних установках синхронні машини іноді використовуються як компенсатори – генератори реактивної потужності, що дозволяє підвищити коефіцієнт потужності всієї установки.

2.2 Будова СМ

Синхронна машина складається з нерухомої частини – статора, і частини, що обертається, – ротора. Статори синхронних машин в принципі не відрізняються від статорів асинхронних двигунів, тобто складаються з корпусу, осердя і обмотки.

Конструктивне виконання статора синхронної машини може бути різним залежно від призначення і габаритів машини. Так, в багатопольсних машинах великої потужності при зовнішньому діаметрі осердя статора більше 900 мм пластини осердя роблять з окремих сегментів, які при збиранні утворюють осердя статора циліндричної форми. Корпуси статорів великогабаритних СМ виготовляють роз'ємними, що необхідно для зручності транспортування і монтажу цих машин.

Ротори СМ можуть мати дві конструкції, що принципово розрізняються: явнополюсну і неявнополюсну (рис. 1 а, б).

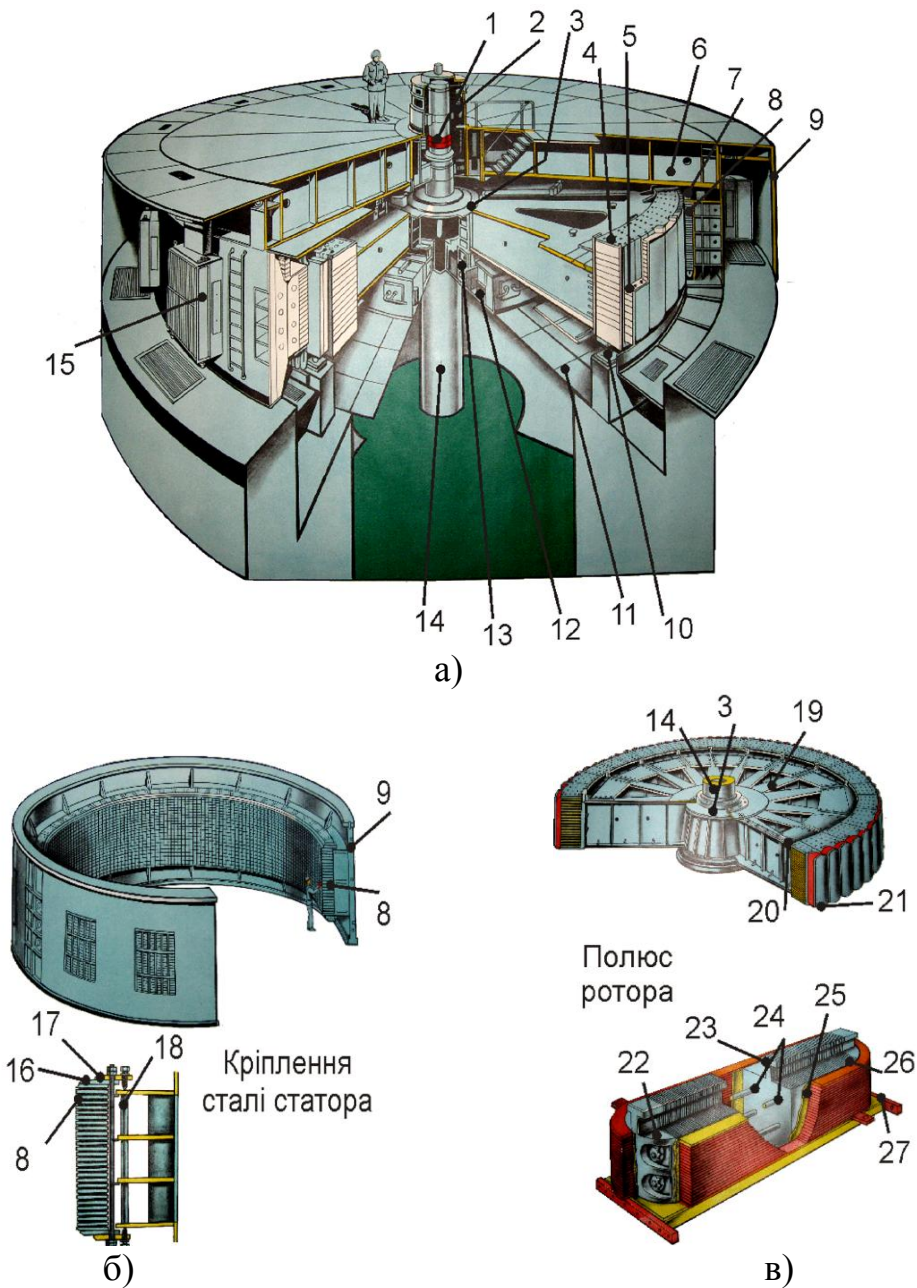


- а) – ротор з явновираженими полюсами;
- б) – ротор з неявновираженими полюсами

Рисунок 1 – Конструкція роторів синхронних машин

В енергетичних установках по генеруванню електроенергії змінного струму як первинні двигуни (джерела механічної енергії) синхронних генераторів застосовують в основному три види двигунів: парові турбіни, гідравлічні турбіни або двигуни внутрішнього згорання (дизелі). Застосування будь-якого з наведених двигунів принципово впливає на конструкцію синхронного генератора.

Якщо приводним двигуном є гідравлічна турбіна, то синхронний генератор називають гідрогенератором (рис. 2).



1 – контактні кільця; 2 – збуджувач; 3 – втулка ротора; 4 – обід ротора; 5 – полюс; 6 – верхня хрестовина; 7 – обмотка статора; 8 – осердя статора; 9 – корпус статора; 10 – гальмівний домкрат; 11 – нижня хрестовина; 12 – ванна для масла; 13 – підп’ятник; 14 – вал; 15 – повітроохолоджувач; 16 – натискний палець; 17 – натискна плита; 18 – стяжна шпилька; 19 – спиця ротора; 20 – струмопідвід до обмотки збудження; 21 – полюс ротора; 22 – натискна щока; 23 – Т-подібний хвіст полюса; 24 – стяжні шпильки; 25 – корпусна ізоляція котушки збудження; 26 – осердя полюса; 27 – полюсний наконечник

Рисунок 2 – Загальна конструкція гідрогенератора (а), конструкція статора (б) та ротора (в)

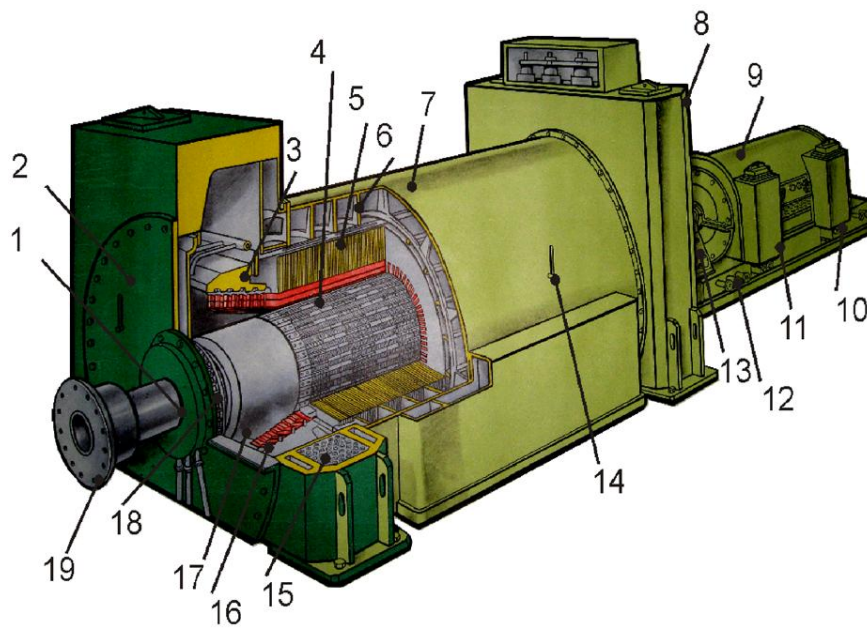
Гідравлічна турбіна зазвичай розвиває невелику частоту обертання (60-500 об/хв.), тому для отримання змінного струму промислової частоти (50 Гц) в гідрогенераторі застосовують ротор з великим числом полюсів. Ротори гідрогенераторів мають явнополюсну конструкцію, тобто з явно вираженими полюсами, при якій кожен полюс виконують у вигляді окремою вузла, що складається з осердя 1, полюсного наконечника 2 і полюсної котушки 3 (рис. 1). Всі полюси ротора закріплені на ободі 4, що є також і ярмом магнітної системи машини, в якому замикаються потоки полюсів. Гідрогенератори зазвичай виготовляються з вертикальним розташуванням валу.

Парова турбіна працює при великій частоті обертання, тому генератор, що приводиться нею в обертання (турбогенератор), є швидкохідною синхронною машиною. Ротори цих генераторів виконують або двополюсними ($n_1=3000$ об/хв.), або чотириполюсними ($n_1=1500$ об/хв.).

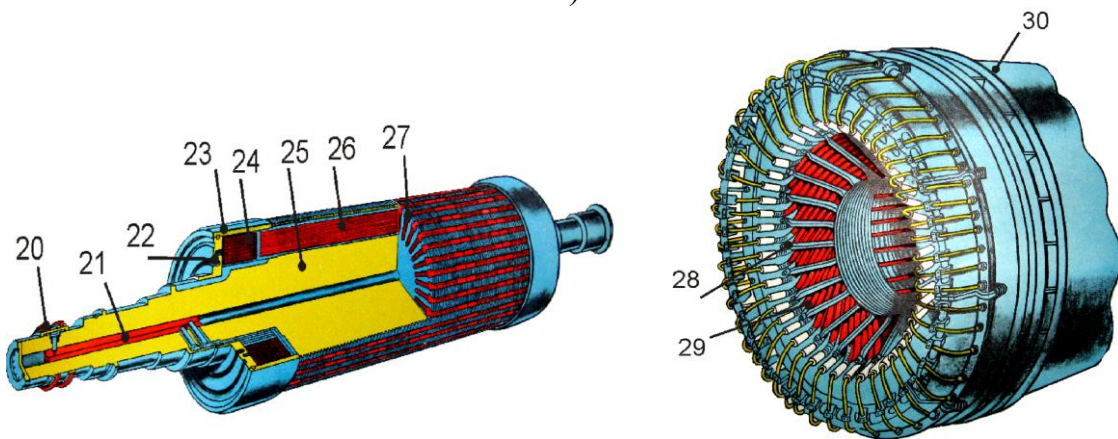
В процесі роботи турбогенератора на його ротор діють значні відцентрові сили. Тому за умовами механічної міцності в турбогенераторах застосовують неявнополюсний ротор, що має вид подовженого сталевго циліндра з подовжніми пазами, що фрезують на поверхні, для обмотки збудження (рис. 1, б). Осердя неявнополюсного ротора виготовляють у вигляді цілісної сталевго поковки разом з хвостовиками, або ж роблять збірним. Обмотка збудження неявнополюсного ротора займає лише 2/3 його поверхні (по периметру). Для захисту лобових частин обмотки ротора від руйнування дією відцентрових сил, ротор з двох сторін прикривають сталевими бандажними кільцями, що виготовляються зазвичай з немагнітної сталі.

Турбогенератори (рис. 3) і дизель-генератори (рис. 4) виготовляють з горизонтальним розташуванням валу. Дизель-генератори розраховані на частоту обертання 600–1500 об/хв. і виконуються з явнополюсним ротором (рис. 1, а).

На рисунку 5 показана конструкція полюса синхронного генератора – елемента, характерного для більшості конструкцій. На вал 1 посаджений шихтований обід 2, на якому за допомогою Т-подібного хвостовика кріпиться осердя полюса 3, виконане сумісно з полюсним наконечником. Осердя полюсів виготовлені з штампованих листів конструкційної сталі товщиною 1,0 або 1,5 мм.



а)



б)

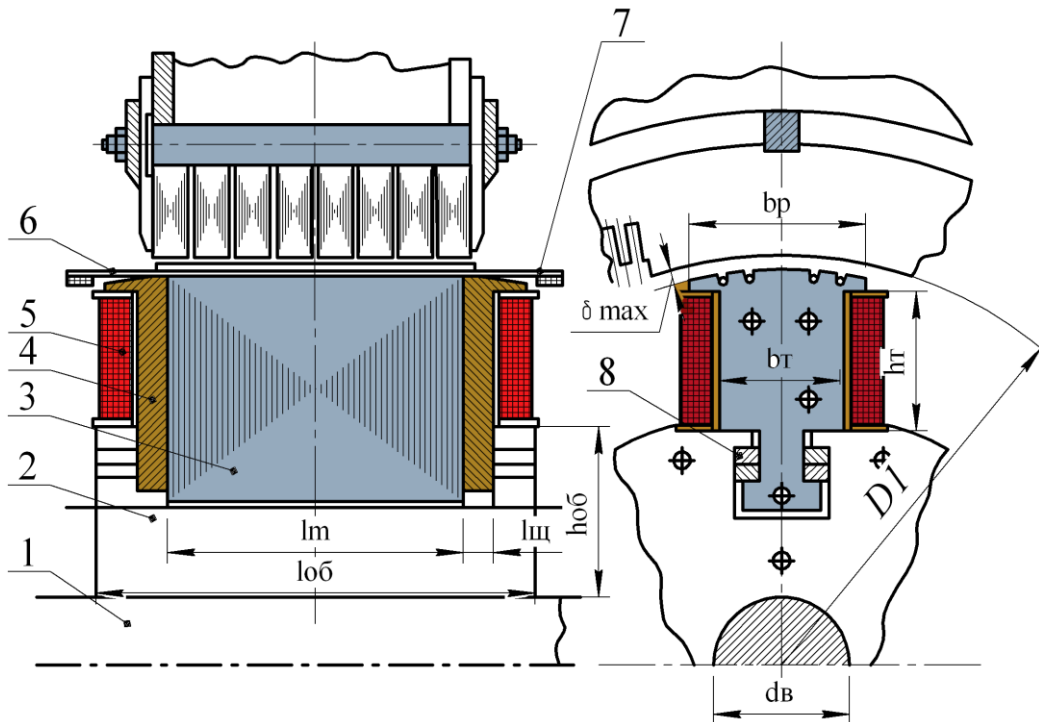
в)

1 – ущільнення на валу ротора; 2 – торцевий щит; 3 – кронштейн кріплення обмотки статора; 4 – ротор; 5 – осердя статора; 6 – деталі кріплення осердя статора до корпусу; 7 – корпус турбогенератора; 8 – охолоджувач; 9 – збуджувач; 10 – патрубки для підведення води до охолоджувача; 11 – охолоджувач збуджувача; 12 – маслопровід до підшипника; 13 – стійки підшипника; 14 – термометр; 15 – трубки для циркуляції води в охолоджувачі; 16 – бандажні кільця обмотки статора; 17 – бандажні кільця обмотки ротора; 18 – відцентровий вентилятор; 19 – з'єднувальний фланець; 20 – контактні кільця; 22 – струмопідвід до обмотки збудження; 23 – бандажне кільце; 24 – лобова частина обмотки; 25 – бочка ротора; 26 – пазова частина обмотки ротора; 27 – пазовий клин ротора; 28 – деталі кріплення лобових частин обмотки статора; 29 – лобові частини обмотки статора; 30 – корпус статора

Рисунок 3 – Загальна конструкція турбогенератора (а), конструкція статора (б) та ротора (в)



Рисунок 4 – Синхронний генератор (дизель-генератор)



1 – контактні кільця, 2 – щіткотримачі, 3 – полюсна котушка ротора 4 – полюсний наконечник, 5 – осердя статора, 6 – вентилятор, 7 – вал

Рисунок 5 – Поліус синхронної машини

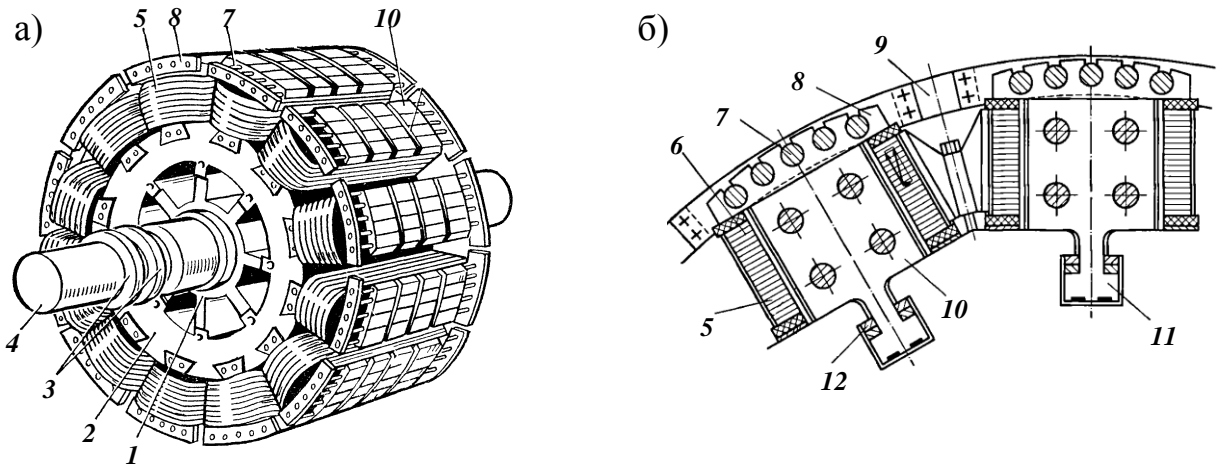
Хвостовик полюса закривається в подовжньому пазу обода за допомогою клинів 9. Можливо також кріплення полюсів до обода за допомогою “ластівчиного хвоста” або шпильок. Сталеві щоки 4, стягнуті шпильками, запобігають розпушенню пакету полюса ротора. Щоки мають заплічки, що утримують полюсну котушку ротора 5. В пазах полюсних наконечників розташовані латунні або мідні стрижні 6 пускової (заспокійливої) обмотки, замкнуті з двох сторін сегментами 7.

Між зовнішньою поверхнею полюсного наконечника і внутрішньою поверхнею осердя статора 8 є повітряний зазор. По осі полюса цей зазор δ мінімальний, а на краях – максимальний S_{max} . Така конфігурація полюсного наконечника необхідна для синусоїдального розподілу магнітної індукції в повітряному зазорі. Вона досягається тим, що поверхня полюсного наконечника має радіус $R < (D_l - 2\delta)/2$, де D_l – діаметр розточки осердя статора.

Магнітопровід ротора явнополюсної машини виконують з феромагнітних матеріалів суцільним, або набраним з окремих листів електротехнічної сталі, товщина яких знаходиться в межах від 0,5 до 2,5 мм. При невеликому зовнішньому діаметрі (до 2...4 м.) обід виготовляють з суцільних кільцевих пластин і насаджують їх безпосередньо на вал. При великих діаметрах обід збирається на стяжних шпильках з окремих сегментів і закріплюється на остові. Для покращення вентиляції СМ, що мають значну осеву довжину, обід виконується розділеним на декілька пакетів, між якими є канали для проходження охолоджуючого повітря до периферійних зон ротора. Іноді радіальні вентиляційні канали передбачаються і в полюсах ротора.

На рисунку 6 приведена найбільш розповсюджена конструкція полюсів ротора. Для можливості встановлення раніше виготовлені котушки 5 обмотки збудження на полюси, що мають меншу ширину, чим полюсні наконечники, полюси виконують повністю з'ємними. Полюси ротора набирають з листів ЕТС товщиною 2...5 мм і стягують в осевому напрямку шпильками 10. Кріплення полюсів здійснюють за допомогою Т-подібних хвостів

11, кожний з яких заклинюється двома парами сталевих клинів 2 прямокутного перетину.



1 – остов ротора; 2 – обід ротора; 3 – контактні кільця; 4 – вал; 5 – обмотка збудження; 6 – виткова ізоляція котушки; 7 – стрижень демпферної обмотки; 8 – стрижень демпферної обмотки; 9 – з'єднання між сегментами; 10 – осердя полюса; 11 – хвіст полюса Т-подібної форми; 12 – клини хвостового кріплення

Рисунок 6 – Зовнішній вид (а) і поперечний розріз полюсів (б) явнополюсного ротора СМ

2.3 Вимірювання омичного опору фазних обмоток статора і ротора СГ.

Омічний опір фазних обмоток статора і ротора СГ вимірюється за допомогою мультиметру, омметра або мосту постійного струму перед початком дослідження.

Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Опори обмоток СГ

Обмотки статора (якоря)	<i>C1– C4</i>	<i>C2– C5</i>	<i>C3– C6</i>	$R_{1\Theta_0}, Ом$	$R_{1(75^0 C)}, Ом$
Обмотки збудження на роторі	<i>I1-I2 (замір №1)</i>	<i>I1-I2 (замір №2)</i>	<i>I1-I2 (замір №3)</i>	$R_{зб\Theta_0}, Ом$	$R_{зб(75^0 C)}, Ом$

В таблиці 1 позначено:

C1– C4, C2– C5, C3– C6 – фазні обмотки статора;

I1-I2 – обмотки збудження генератора;

$R_{1\Theta_0}, R_{2\Theta_0}$ – середні значення опорів фазних обмоток статора та збудження при температурі навколишнього середовища;

$R_{1(75^0 C)}, R_{2(75^0 C)}$ – середні значення опорів фазних обмоток статора та збудження при робочій температурі $\Theta_p=75^0 C$.

3 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

3.1 Детальну інформацію про:

- будову і матеріал виготовлення статора та обмотки статора або якоря СМ;
- будову і матеріал виготовлення елементів конструкції обмотки збудження та неявнополюсного ротора СМ;
- будову і матеріал виготовлення елементів конструкції обмотки збудження та явнополюсного ротора СМ;
- призначення і будову системи збудження СМ;
- будову і матеріал виготовлення заспокійливої (демпферної) обмотки та пускової обмотки на роторі явнополюсної СМ ;

- будову і матеріал виготовлення полюсів явнополюсної СМ. З якою метою повітряний зазор під полюсами виконується нерівномірним, а ширина полюса менша полюсної поділки;
- призначення та матеріал виготовлення полюсних башмаків на полюсах явно полюсної СМ. Яким чином утворюються полюси на роторі явнополюсної СМ;
- призначення та будову контактних кілець і щіткового апарата СМ;
- приблизну величину повітряного зазору СМ малої та середньої потужностей;
- структуру умовного позначення обмоток статора і ротора СМ.

3.2 Конструкцію роторів СМ.

3.3 Ескіз полюса синхронної машини.

3.4 Ескіз контактних кілець і щіткового апарата СМ.

3.5 Структуру умовного позначення типу СМ.

3.6 Результати вимірювань омічного опору.

3.7 Аналіз отриманих результатів.

4 Контрольні питання

4.1 Які розрізняють в залежності від призначення синхронних машин?

4.2 Які два основних види синхронних машин за конструктивним виконанням випускаються сучасною промисловістю?

4.3 Привести та пояснити конструктивну схему будови явнополюсної синхронної машини.

4.4 Привести та пояснити конструктивну схему будови неявнополюсної синхронної машини.

4.5 З яких конструктивних елементів складається статор синхронної машини.

4.6 Поясніть будову та матеріал виготовлення обмотки статора синхронної машини.

4.7 Поясніть будову та матеріал виготовлення осердя статора синхронної машини.

4.8 Поясніть будову та матеріал виготовлення ротора явнополюсної синхронної машини.

4.9 Поясніть будову та матеріал виготовлення обмотки збудження синхронної машини.

4.10 Яку геометричну форму і з якої причини мають полюса ротора явнополюсної синхронної машини? Назвіть способи їх кріплення до остову ротора і матеріал виготовлення.

4.11 З яких конструктивних елементів складається ротор неявнополюсної синхронної машини?

4.12 Поясніть, як виконується обмотка збудження неявнополюсної СМ, способи її виготовлення та матеріал виготовлення.

4.13 Поясніть призначення та будову контактних кілець та щіткового апарату синхронної машини.

4.14 Які джерела постійного струму використовуються для живлення обмотки збудження синхронної машини?

4.15 Назвіть приблизну величину повітряного зазору синхронної машини малої та середньої потужностей.

4.16 Як за стандартом позначаються виводи фазних обмоток статора і ротора синхронної машини?

4.17 Привести і пояснити конструктивну схему пристрою контактних кілець і щіткового апарату синхронної машини.

4.18 Назвіть призначення збуджувача синхронної машини та місце його розташування.

4.19 Який тип електричних машин використовується в якості збуджувача синхронної машини?

Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОНОМНОГО ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Мета роботи

Придбання практичних навичок отримання дослідним шляхом основних характеристик синхронного генератора (СГ) та дослідження його властивостей в режимах холостого ходу та навантаження та короткого замикання

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Опрацювати по рекомендованій літературі [1-5] теоретичний матеріал що стосується властивостей СГ в режимах холостого ходу, навантаження та короткого замикання. Розібратися та уміти пояснити вид статичних характеристики СГ.

1.2 Ознайомитись з робочим місцем і обладнанням в лабораторії електричних машин. Записати тип і номінальні дані досліджуваного СГ і первинного двигуна постійного струму, а також типу обраних для проведення дослідів СГ вимірювальних приладів.

1.3 Виміряти омичні опори обмотки статора (якоря) та обмотки збудження на роторі СГ.

1.4 Зібрати електричну схему випробування СГ (рисунок 12.1) і провести досліди холостого ходу, навантаження та короткого замикання.

1.5 Опрацювати дослідні дані, побудувати наступні характеристики СГ: холостого ходу, зовнішню, регульовальну та короткого замикання.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Вимірювання омичного опору фазних обмоток статора і ротора СГ.

Омічний опір фазних обмоток статора і ротора СГ вимірюється за допомогою мультиметру, омметра або мосту постійно-

го струму перед початком досліду. Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1

Таблиця 1 – Опори обмоток СГ

Обмотки статора (якоря)	<i>C1– C4</i>	<i>C2– C5</i>	<i>C3– C6</i>	$R_{1\Theta_0}, Ом$	$R_{1(75^0 C)}, Ом$
Обмотки збудження на роторі	<i>И1-И2 (забір №1)</i>	<i>И1-И2 (забір №2)</i>	<i>И1-И2 (забір №3)</i>	$R_{3\Theta_0}, Ом$	$R_{3\Theta(75^0 C)}, Ом$

В таблиці 1 позначено:

C1– C4, C2– C5, C3– C6 – фазні обмотки статора;

И1-И2 – обмотки збудження генератора;

$R_{1\Theta_0}, R_{2\Theta_0}$ – середні значення опорів фазних обмоток статора та збудження при температурі навколишнього середовища;

$R_{1(75^0 C)}, R_{2(75^0 C)}$ – середні значення опорів фазних обмоток статора та збудження при робочій температурі $\Theta_p=75^0 C$.

2.2 Отримання характеристики холостого хода

Характеристика холостого хода представляє собою залежність ЕРС E_0 обмотки статора (якоря) від струму збудження $I_{3\phi}$ в режимі х.х. при незмінній частоті обертання ротора, що дорівнює n_1 , тобто

$$E_0=f(I_{3\phi}) \text{ при } I = I_a= 0 \text{ і } n = n_n = const.,$$

де E_0 – ЕРС якоря, В;

I_a – струм якоря, А;

При цьому

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \quad (1)$$

де f_1 – номінальна частота СГ (50 Гц);

p – число пар полюсів генератора.

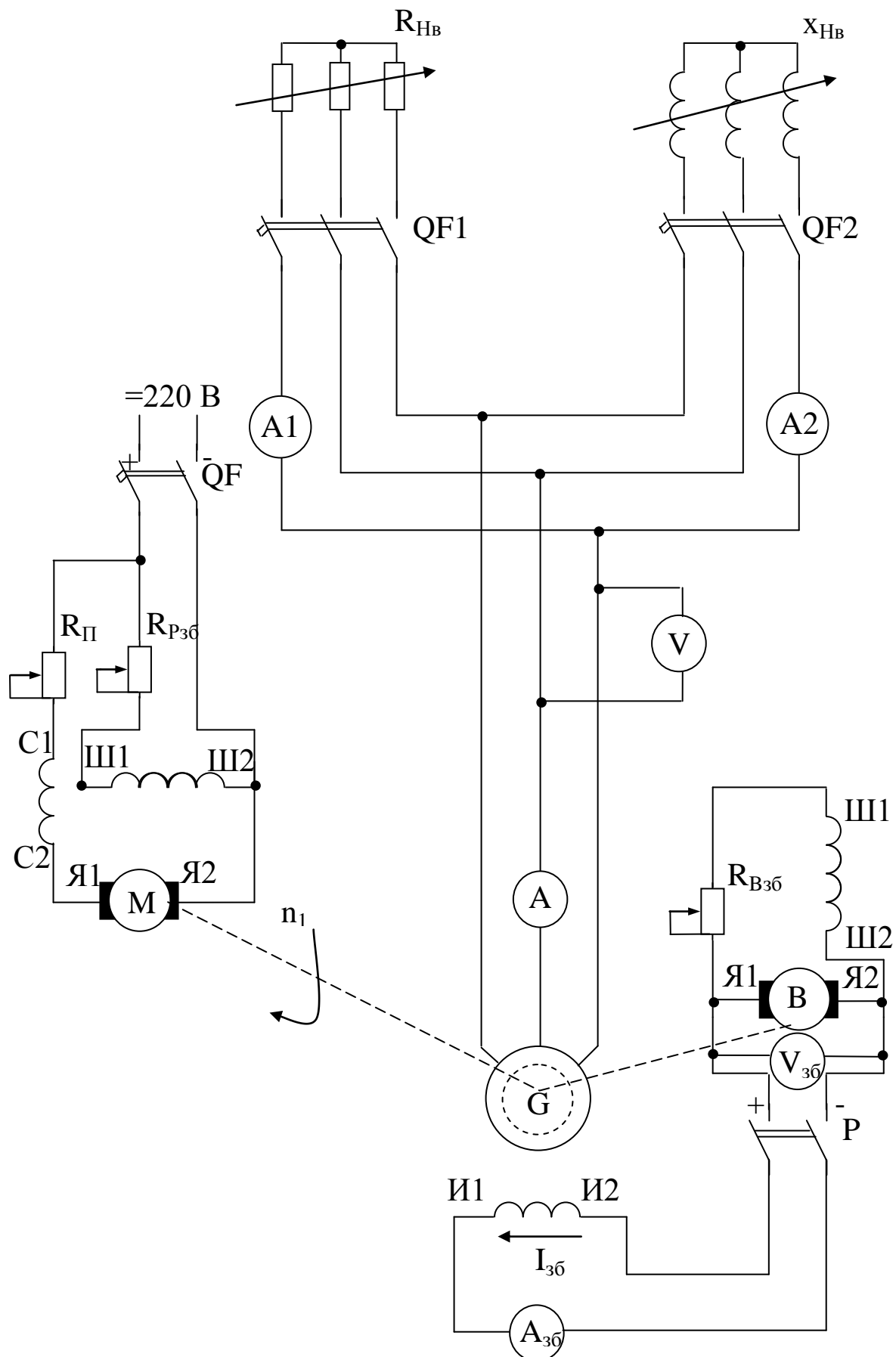
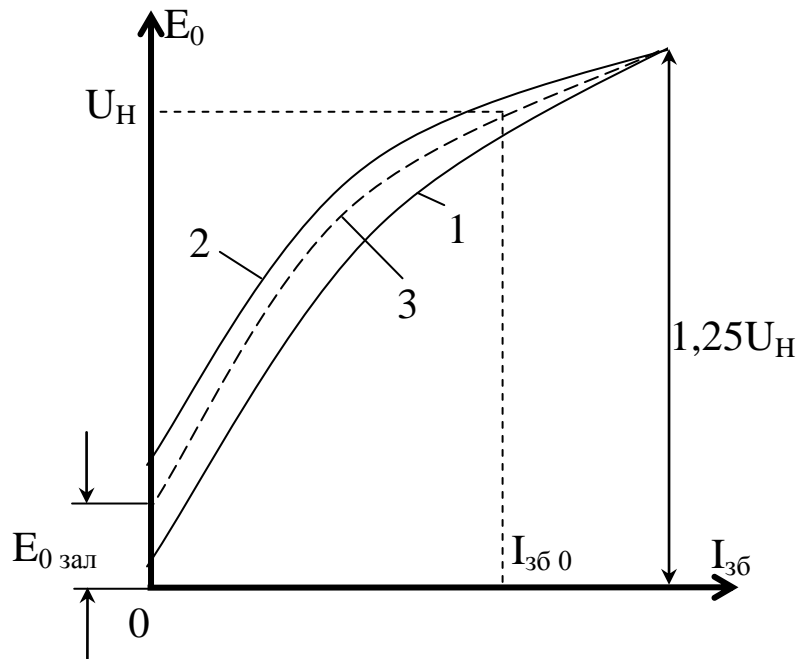


Рисунок 1 – Принципова електрична схема дослідження синхронного генератора



1 – висхідна гілка; 2 – низхідна гілка;
3 – середня розрахункова характеристика х.х.

Рисунок 2 – Характеристика холостого ходу синхронного генератора

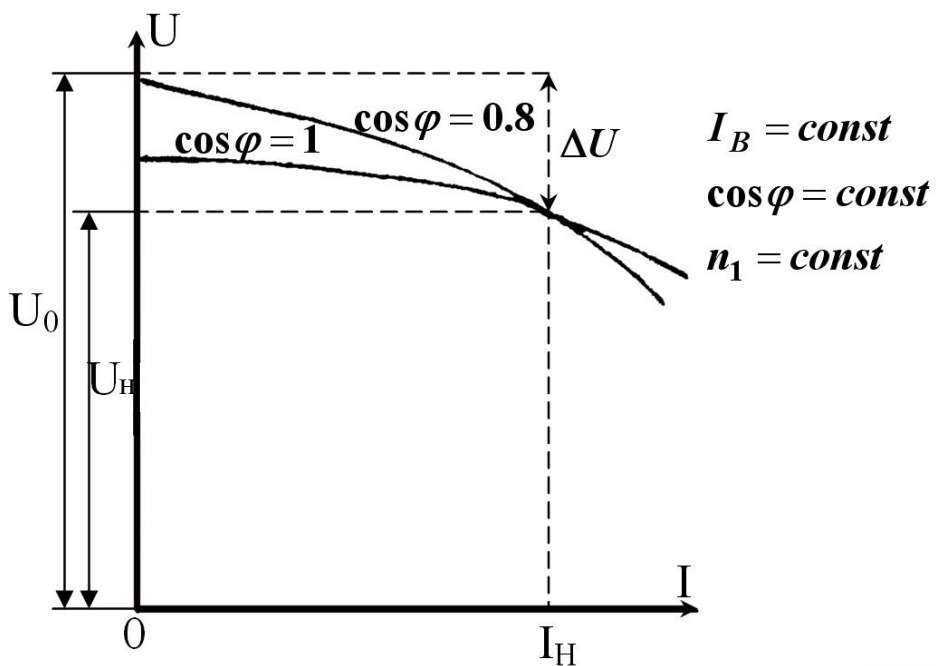


Рисунок 3 – Зовнішні характеристики синхронного генератора

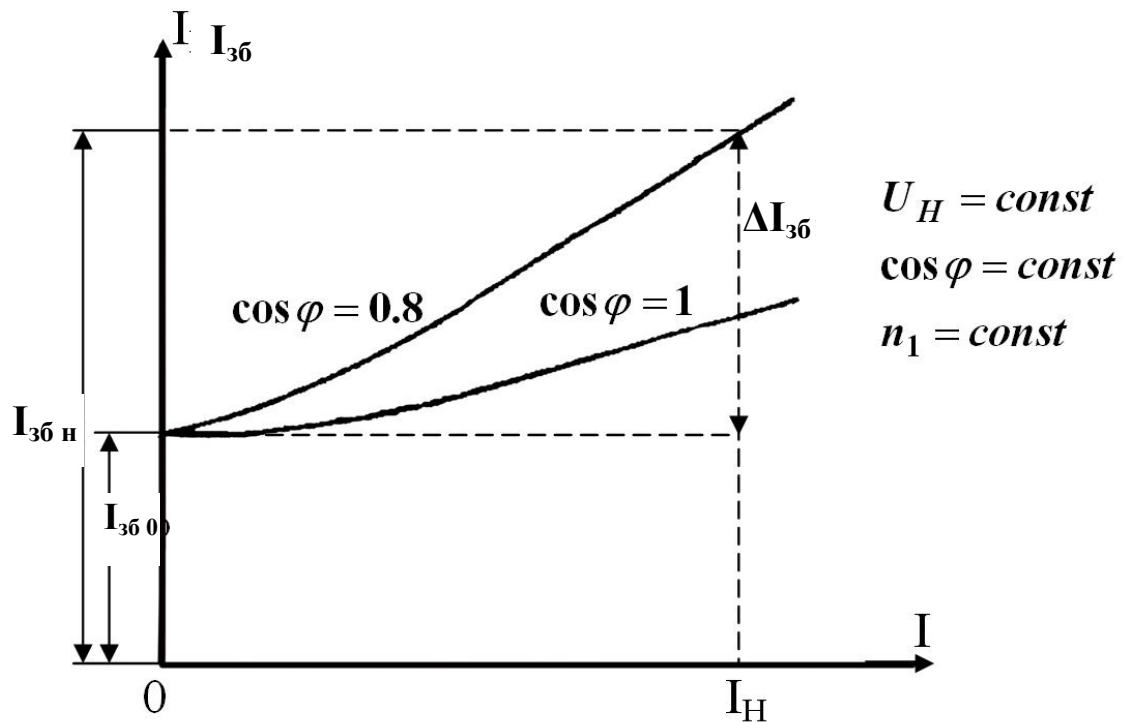


Рисунок 4 – Регулювальні характеристики синхронного генератора

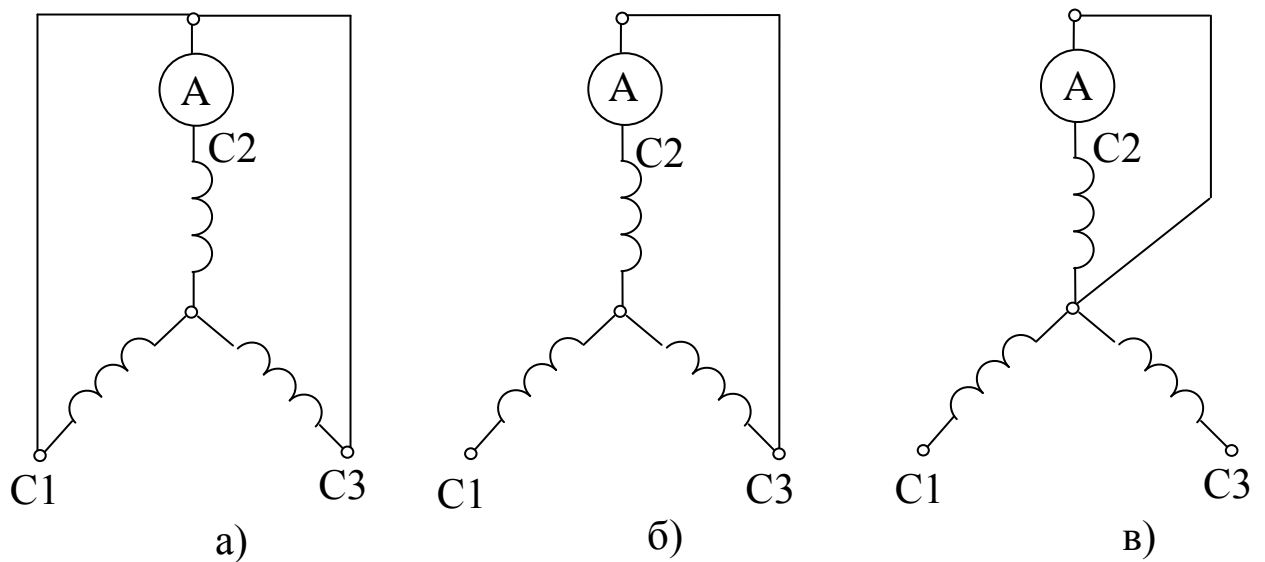


Рисунок 5 – Схеми дослідів короткого замикання синхронного генератора: а) – трифазного; б) – двофазного; в) – однофазного

Зняття х.х.х. проводиться за електричною схемою рисунку 1 при відключених опорах навантаження $R_{нв}$ та $X_{нв}$ в наступній послідовності. Запускається в хід первинний двигун постійного струму (М) що включається автоматичним вимикачем QF і встановлюється синхронна частота обертання ротора n_1 СГ. Частота n_1 на протязі всього досліду підтримується незмінною. Перевірка незмінності n_1 на протязі всього досліду проводиться тахометром або частотоміром. При відключеному навантаженні (QF1 та QF2 вимкнені) та при відсутності струму збудження $I_{зб}$ в обмотці збудження И1-И2 (рубильник Р розімкнений), вимірюється ЕРС на затискачах обмоток статора, що індукується потоком залишкового намагнічування в осерді полюсів ротора. Потім, при повністю введеному опорі в ланці обмотки збудження $R_{зб}$ збуджувача, включається рубильник Р і поступово збільшуючи струм збудження $I_{зб}$ генератора та знімається висхідна гілка х.х.х. до величини $E_0=1,2-1,3U_n$. Зазвичай знімається 6-8 точок. Після цього струм збудження $I_{зб}$ поступово знижується до нуля і знімається спадна гілка х.х.х. генератора. При цьому також знімається 6-8 точок. Результати вимірювань заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Данні х.х.х. генератора

Висхідна гілка	$I_{зб}$, А								
	E_0 , В								
Спадна гілка	$I_{зб}$, А								
	E_0 , В								

За даними таблиці 2 необхідно побудувати характеристику х.х. Приблизний вигляд характеристики холостого ходу СГ представлено на рисунку 2.

2.3 Отримання зовнішньої характеристики СГ

Зовнішня характеристика генератора представляє собою залежність напруги на затисках генератора U від струму навантаження в обмотці статора (якоря) при незмінних струмі збудження $I_{зб}$, коефіцієнті потужності $\cos\varphi$ та частоті обертання ротора n_1 або номінальній частоті генератора f_n , тобто

$$U = f(I) \text{ при } I_{зб} = \text{const}, \cos\varphi = \text{const} \text{ та } n_1 = \text{const} (f_n = \text{const}),$$

Зовнішні характеристики знімаються для двох значень коефіцієнту потужності $\cos\varphi = 1$ та $\cos\varphi = 0,8$ за електричною схемою рисунку 1 в наступній послідовності. Ротор генератора приводиться до обертання первинним двигуном (М) з синхронною частотою n_1 , яка при проведенні досліду підтримується незмінною. Включенням рубильника Р на обмотку збудження подається струм збудження $I_{зб}$. При цьому генератор збуджується, про що свідчить показання вольтметра на затисках генератора. Потім за допомогою автоматичних вимикачів QF1 або QF2 включається навантаження. Відповідним зміненням опору навантаження $R_{нв}$ або $X_{нв}$ та величини струму збудження забезпечується режим номінального навантаження СГ при $I = I_n$ та $U = U_n$. Отриманий при цьому струм збудження підтримується незмінним. Потім зменшуючи струм навантаження при підтримці незмінного значення $\cos\varphi$, вимірюється напруга на затисках генератора. В досліді струм статора змінюється від I_n до нуля шляхом відключення навантаження автоматичними вимикачами QF1 (або QF2). Знімається 5-6 точок. При лабораторних дослідженнях в якості активного навантаження при $\cos\varphi = 1$ використовують трифазний рідинний реостат ($R_{нв}$), який забезпечує незмінність $\cos\varphi$ при зміні навантаження. При знятті характеристики при $\cos\varphi = 0,8$ в якості навантаження використовують паралельно включені рідинний реостат $R_{нв}$ та змінний трифазний індуктивний опір $X_{нв}$. При цьому незмінність $\cos\varphi = 0,8$ забезпечується при одночасній підтримці рівності струмів в навантаженнях $R_{нв}$ та $X_{нв}$.

Результати вимірювань заносяться до таблиці 3.

Таблиця 3 – Данні зовнішніх характеристик генератора

$$I_{зб} = \underline{\quad} A$$

$\cos\varphi=1$	U, B								
	I, A								
$\cos\varphi=0,8$	U, B								
	I, A								

За даними таблиці 3 необхідно побудувати зовнішні характеристики СГ. Приблизний вигляд характеристик представлено на рисунку 3.

2.4 Регульовальні характеристики СГ

Регульовальна характеристика СГ являє собою залежність струму збудження $I_{зб}$ від струму навантаження I при незмінних номінальній напрузі на затисках генератора $U_{ном}$, коефіцієнті потужності $\cos\varphi$ та частоті обертання ротора n_1 , тобто

$$I_{зб} = f(I) \text{ при } U = U_{ном} = const, \cos\varphi = const \text{ та } n_1 = n_{ном} = const.$$

Зняття регульовальних характеристик проводиться за електричними схемами рисунку 1 наступним чином. Ротор генератора приводиться до обертання первинним двигуном зі швидкістю n_1 . На обмотку збудження генератора подається струм збудження $I_{зб}$ при відключених опорах навантаження $R_{нв}$ та $X_{нв}$, тобто на холостому ході. На затисках генератора встановлюється напруга $U = U_n$. Потім за допомогою АВ QF1 включається активне навантаження $R_{нв}$ і поступово збільшується струм навантаження генератора від $I=0$ до $I=I_n$. Одночасно з цим необхідно регулювати струм збудження таким чином, щоб напруга на затисках генератора залишалась незмінною, тобто підтримується умова $U = U_{ном} = const$. Струм навантаження слід змінювати через рівні інтервали таким чином, щоб в заданих межах його змінювання отримати 5-6 точок характеристики.

Аналогічно знімається регульовальна характеристика при $\cos\varphi=0,8$ з паралельно включеними опорами навантаження $R_{нв}$ та

$X_{нв}$. Незмінність $\cos\varphi=0,8$ ($\cos\varphi=0,707$) при цьому підтримується таким же чином, як і при знятті зовнішньої характеристики при активно-індуктивному характері навантаження ($\cos\varphi=0,8$). Результати вимірювань заносяться до таблиці 4.

Таблиця 4 – Данні регулювальної характеристики СГ
 $U = \quad B$

$\cos\varphi=1$	$I_{зб}, A$								
	I, A								
$\cos\varphi=0,8$	$I_{зб}, A$								
	I, A								

За даними таблиці 4 слід побудувати регулювальні характеристики СГ. Приблизний вигляд характеристик представлено на рисунку 4.

2.5 Характеристики короткого замикання генератора

Характеристика короткого замикання (х.к.з.) представляє собою графічну залежність сталого в накоротко замкнених обмотках статора струму короткого замикання I_k від струму збудження $I_{зб}$ при номінальній частоті обертання, що дорівнює синхронній $n_n=n_1$ та напрузі $U=0$, тобто

$$I_k = f(I_{зб}) \text{ при } U = 0, n = n_1 = \text{const.}$$

Характеристики к.з. почергово знімаються при накоротко замкнених трьох, двох та одою фазах обмотки статора. Схеми включення обмоток представлені на рисунку 2. Дослід проводиться в наступній послідовності. Ротор СГ приводиться до обертання з номінальною частотою $n=n_1$, яка при проведенні досліду підтримується незмінною. Потім замикається накоротко необхідна кількість фаз (рисунок 5) обмотки статора. При цьому генератор не збуджується, тобто рубильник Р відключено і $I_{зб}=0$. Контролюються показання амперметра в ланцюзі обмотки статора.

Цей струм виникає під дією залишкової ЕРС $E_{зал}$, яку індуктує потік залишкового намагнічування осердя полюсів ротора. Потім на обмотку збудження И1-И2 замиканням рубильнику Р подається мінімальний струм збудження $I_{зб}$, що забезпечується повністю введеним опором $R_{рзб}$. Поступово збільшуючи струм збудження $I_{зб}$, слід уважно контролювати струм статора $I_{к}$, величина якого не повинна перевищувати номінальний струм на 25%, тобто $I_{к} \leq 1,25I_{н}$. Знімається 3-4 точки характеристики к.з. Дані вимірювань заносяться до таблиці 5.

Таблиця 5 – Дослідні дані характеристики к.з. СГ

$I_{к}^{(3)}$, А								
$I_{к}^{(2)}$, А								
$I_{к}^{(1)}$, А								
$I_{зб}$, А	0							

За даними таблиці 5 необхідно побудувати характеристики к.з. СГ. Приблизний вигляд характеристик к.з. СГ представлено на рисунку 6.

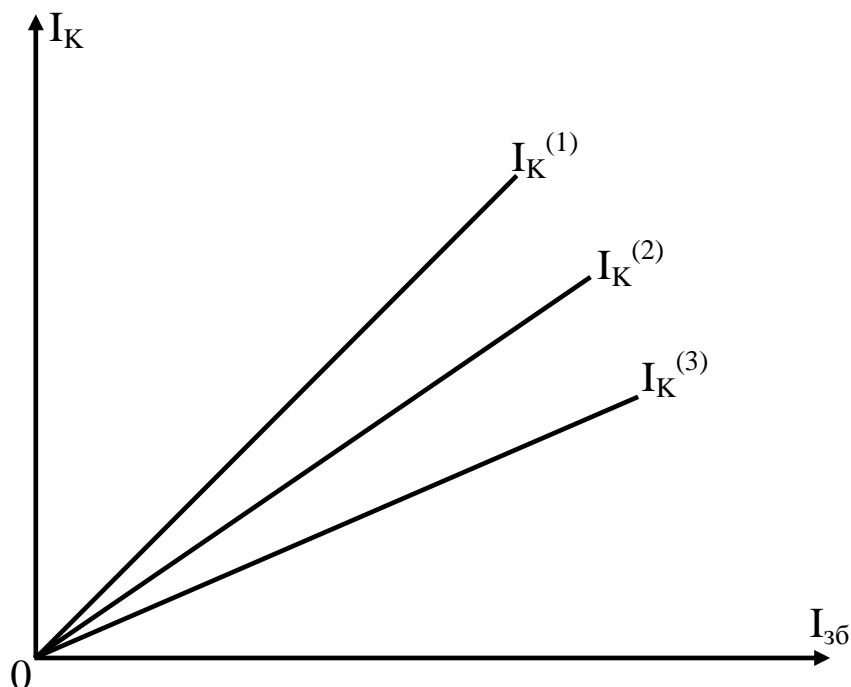


Рисунок 6 – Характеристики к.з. СГ

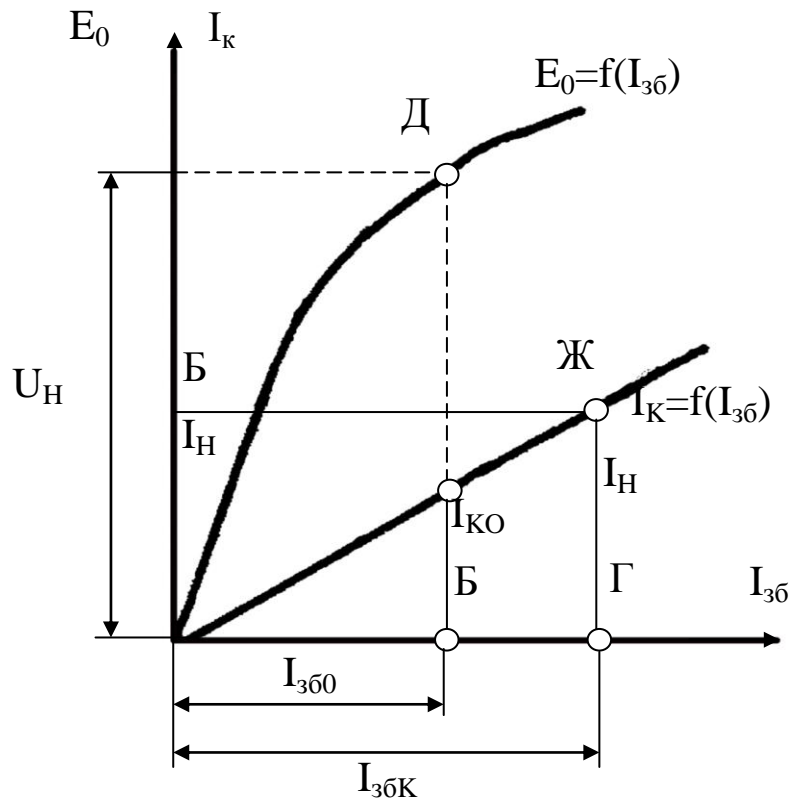


Рисунок 7 – До визначення відношення короткого замикання (ОКЗ) СГ

2.6 Визначення відношення короткого замикання (ОКЗ)

Відношенням короткого замикання (ОКЗ) називається відношення сталого струму короткого замикання $I_{к0}$ до номінального струму якоря (статора) СГ I_n .

$$ОКЗ = \frac{I_{к0}}{I_n}, \quad \text{або} \quad ОКЗ = \frac{I_{зб0}}{I_{збк}}, \quad (2)$$

де $I_{к0}$ – струм сталого короткого замикання при струмі збудження $I_{зб0}$, який забезпечує в режимі холостого ходу генератора $E_0=U_n$;

$I_{збк}$ – струм збудження, при якому в режимі сталого короткого замикання СГ струм короткого замикання $I_k = I_n$.

Для визначення значення ОКЗ (як це показано на рисунку 7) на одному графіку в одному масштабі необхідно побудувати характеристики холостого ходу та трифазного короткого замикання приведені до початку координат (0). Потім на вісі ординат необхідно відкласти відрізок OA рівний (в масштабі напруги) номінальній напрузі U_n . Через точку A паралельно вісі абсцис проводиться пряма до перетину з характеристикою х.х. в точці Д, опустивши з якою перпендикуляр на вісь абсцис, отримаємо точку Б і значення струму $I_{зб0}$ і по характеристиці к.з. струм $I_{к0}$. Далі на вісі ординат відкладається відрізок OB рівний (в масштабі струму) номінальному струму генератора I_n . Через точку В проводиться паралельно вісі абсцис пряма до перетину характеристики к.з. в точці Ж, опустивши з якої перпендикуляр на вісь абсцис отримаємо точку Г і значення струму збудження $I_{збк}$, яка відповідає струму I_n по характеристиці трифазного короткого замикання. По будь-якому з співвідношень (2) визначається дослідне значення ОКЗ генератора, що досліджувався.

У СГ з явнополюсним ротором ОКЗ=1-1,4 і неявнополюсним ротором ОКЗ=0,5-0,9. величина ОКЗ є важливим показником, що характеризує експлуатаційні властивості явнополюсних машин. Наприклад ОКЗ визначає граничне значення навантаження, яке здатен нести генератор. При цьому, чим більше ОКЗ, тим більше граничне навантаження і ступень стабільності роботи генератора паралельно з мережею. Також ОКЗ характеризує розмагнічуючий вплив реакції якоря на величину напруги генератора. При цьому, чим більше ОКЗ, тим менший вплив реакції якоря на зміну напруги СГ.

3 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

3.1 Електричні схеми дослідження СГ, що наведені на рисунку 1.

3.2 Таблиці 1-6 з дослідними даними.

3.3 Характеристики холостого ходу СГ.

3.4 Зовнішні та регулювальні характеристики СГ.

3.5 Розрахунок номінального струму СГ по паспортним даним та синхронної частоти обертання ротора.

3.6 Розрахунок значень зміни напруги $\Delta u_{\%}$ та струму збудження $\Delta I_{зб\%}$, що визначаються по характеристикам для активно-індуктивного навантаження генератора по формулам

$$\begin{aligned}\Delta u_{\%} &= \frac{U_0 - U_n}{U_n} \cdot 100; \\ \Delta I_{зб\%} &= \frac{I_{збн} - I_{зб0}}{I_{зб0}} \cdot 100\end{aligned}\quad (3)$$

де $I_{збн}$ – струм збудження, при якому напруга на затискачах генератора буде номінальному при номінальному струмі навантаження I_n .

3.7 Електричні схеми 1, 2 та 3-х фазного короткого замикання обмоток статора СГ (рисунок 5) та характеристики к.з. генератора (рис. 6).

3.8 Рисунок зі спільним представленням характеристик х.х. та трифазного к.з. для визначення за дослідними даними ОКЗ дослідного СГ, з даними розрахованої величини ОКЗ СГ.

3.9 Технічну характеристику дослідного СГ та іншого обладнання та приладів, що були використані в роботі.

3.10 Аналіз отриманих результатів по роботі, в якому необхідно на основі знятих характеристик привести перелік основних властивостей СГ, а також значення зміни напруги $\Delta u_{\%}$ та струму збудження $\Delta I_{зб\%}$, значення ОКЗ дослідного СГ.

4 Контрольні питання

4.1 Призначення синхронного генератора. Види синхронних генераторів за конструктивним виконанням ротора. Чому такі генератори називають синхронними?

4.2 Назвіть основні конструктивні елементи синхронного генератора.

4.3 Як називаються обмотки, які розташовані на роторі та статорі синхронного генератора?

4.4 Поясніть принцип дії синхронного генератора.

4.5 Яка графічна залежність називається характеристикою холостого ходу синхронного генератора? Поясніть методику зняття такої характеристики.

4.6 Приведіть та поясніть вид характеристики х.х. синхронного генератора.

4.7 Які графічні залежності називають зовнішніми характеристиками синхронного генератора? Поясніть методику та умови зняття зовнішніх характеристик при різних характерах навантаження.

4.8 Приведіть зовнішні характеристики синхронного генератора при коефіцієнтах потужності навантаження $\cos\varphi=1$ та $\cos\varphi=0,8$ та поясніть їх вид.

4.9 Що називається та як визначається величина зміни напруги $\Delta u\%$?

Які графічні залежності називають регулювальними характеристиками синхронного генератора? Поясніть методику та умови зняття регулювальних характеристик при різних характерах навантаження.

4.10 Приведіть регулювальні характеристики синхронного генератора при коефіцієнтах потужності навантаження $\cos\varphi=1$ та $\cos\varphi=0,8$ та поясніть їх вид.

4.11 Що називається та як визначається величина зміни струму збудження $\Delta I_{зб}\%$?

4.12 Які можливі види короткого замикання обмоток статора (якоря) у трифазних синхронних генераторів?

Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ПАРАЛЕЛЬНІЙ РОБОТІ З МЕРЕЖЕЮ

Мета роботи

Придбання практичних навичок застосування методів включення СГ на паралельну роботу з мережею та дослідження властивостей генератора, що працює паралельно з мережею необмеженої потужності

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Опрацювати по рекомендованій літературі [1-5] теоретичний матеріал що стосується властивостей СГ при паралельній роботі з мережею.

1.2 Ознайомитись з робочим місцем для випробування трифазного СГ при паралельній роботі з мережею. Записати технічну характеристику досліджуваного СГ, а також типи обраних для проведення досліду вимірювальних приладів. Зібрати електричну схему випробування СГ та включити СГ на паралельну роботу з мережею методом точної синхронізації

1.3 Засвоїти методику регулювання активної та реактивної потужностей СГ при його паралельній роботі з мережею.

1.4 Зняти та побудувати U-подібні характеристики СГ при паралельній роботі з мережею в режимі $P=const$ та $I_{3\phi}=var$.

1.5 Зняти та побудувати робочі характеристики СГ при паралельній роботі з мережею в режимі $P=var$ та $I_{3\phi}=const$.

1.6 Опрацювати дослідні дані, провести аналіз дослідження паралельної роботи СГ з мережею.

1.7 Провести аналіз отриманих дослідних даних

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Включення СГ на паралельну роботу з мережею

Для включення СГ на паралельну роботу з мережею слід виконати наступні вимоги:

- 1 Рівність напруги генератора та мережі, $U_g = U_M$;
- 2 Рівність частот генератора та мережі, $f_g = f_M$;
- 3 Однакове чередування фаз генератора та мережі,
 $A_G B_G C_G \sim A_M B_M C_M$;
- 4 Відсутність зсуву по фазі між відповідними векторами напруги генератора та напруги мережі, наприклад $U_{AG} = U_{AM}$.

Виконання цих умов получило назву синхронізації генератора з мережею. Пристрої, призначені для синхронізації роботи генератора з мережею називаються синхроскопами. На практиці застосовують електронні, стрілочні та лампові синхроскопи. Розрізняють два методи синхронізації СГ з мережею:

- метод точної синхронізації, який забезпечує виконання всіх умов синхронізації;
- метод самосинхронізації або грубої синхронізації, який не забезпечує точного виконання умов синхронізації генератора з мережею.

2.2 Метод точної синхронізації

Включення СГ на паралельну роботу з мережею по методу точної синхронізації з використанням лампового синхроскопу здійснюється за схемою рисунку 1. Найпростіший ламповий синхроскоп складається з трьох ламп розжарювання, розрахованих на подвійну фазну напругу СГ. Лампи можуть бути включені за схемою на одночасне погасання або на світло що біжить (світло що обертається). В першому випадку лампи включаються в розсічку між двома фазами генератора і мережі, як це показано на рисунку 1. Лампи будуть одночасно загоратися та гаснути з частотою, що дорівнює різниці частот генератора та мережі. В другому випадку одна з трьох ламп включається в розсічку однієї фази, а дві інші – між двома різними фазами і з цієї причини будуть по чергово загоратися та гаснути, створюючи враження вогню що біжить. Така схема приведена на рисунку 2.

Включення СГ на паралельну роботу з мережею по схемі рисунку 1 відбувається наступним чином. Вимикачем QF1 включається мережа при розімкнутому вимикачі QF2. Потім запускається первинний двигун, в якості якого використовується ДПС змішаного збудження. За допомогою ДПС ротор генератора обертається і генератор збуджується завдяки власному збуджувачу, розташованого на валу СГ.

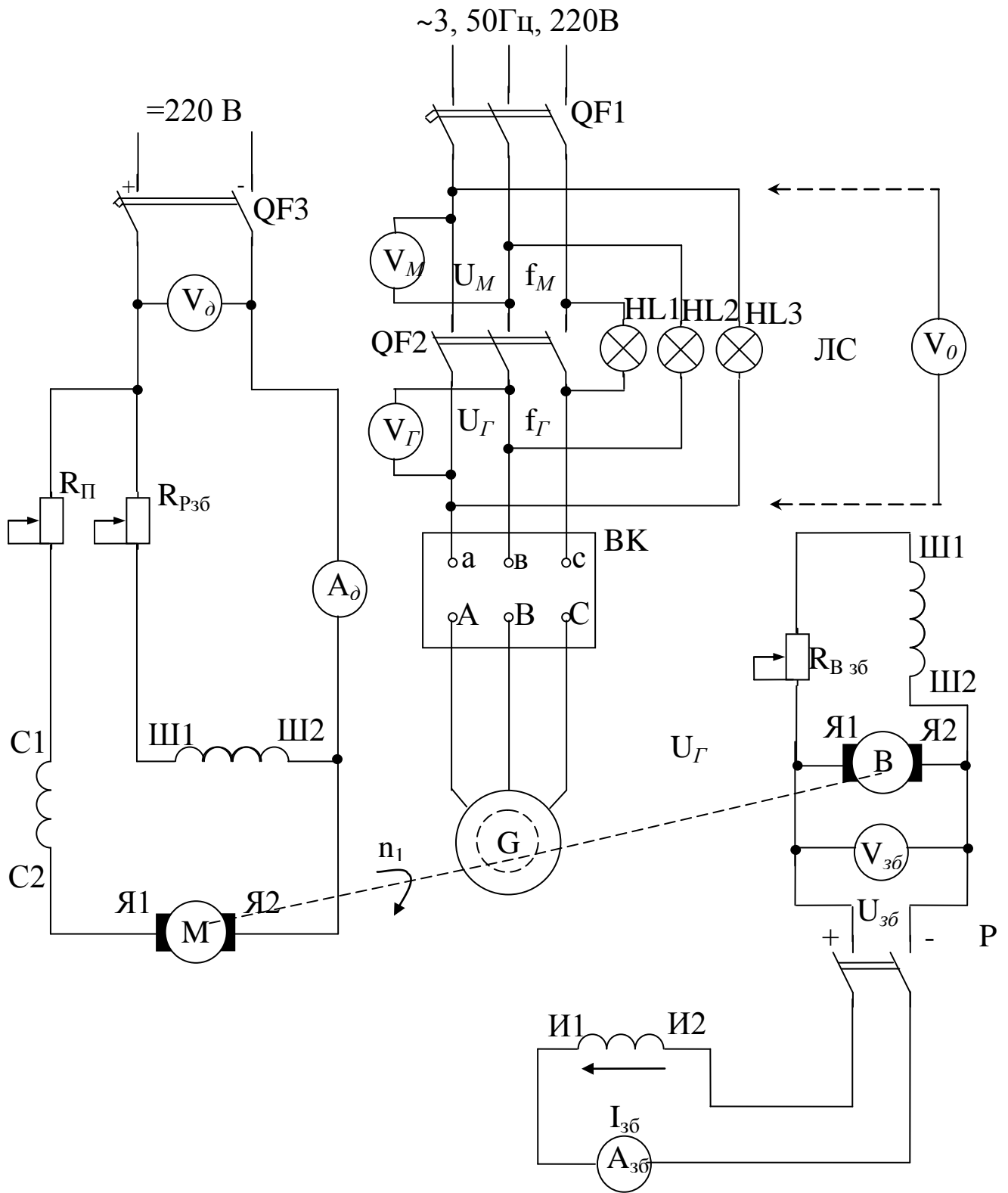


Рисунок 1 – Електрична схема включення та випробування синхронного генератора при нормальній роботі з мережею

Наявність напруги на затисках СГ контролюється вольтметром (V_1). Якщо при цьому лампи (ЛС) будуть блимати з деякою частотою, що дорівнює різниці частот СГ та мережі ($f_M - f_C$), слід змінити швидкість обертання первинного ДПС шляхом регулювання струму збудження ДПС. Слід досягти ефекту повільного погасання і загоряння ламп. Якщо лампи повністю не погасають, напруги СГ та мережі не рівні ($U_M \neq U_C$). Необхідно за допомогою реостата $R_{\text{ре}}$ збуджувача змінити струм збудження $I_{\text{зб}}$ в обмотці збудження СГ И1-И2 таким чином, щоб лампи повністю погасали. Якщо виявиться, що лампи загоряються та гаснуть не одночасно а по черзі – неоднакове чередування фаз СГ та мережі. Щоб змінити чередування фаз генератора слід поміняти місцями два будь-яких виводи СГ. Включення СГ на паралельну роботу з мережею проводиться вимикачем QF2 при повільному погасанні та загорянні ламп в момент повного погасання ламп. Для визначення більш точного визначення моменту повного погасання ламп в розсічку однієї з фаз включається нульовий вольтметр V_0 з нулем по середині шкали. СГ включається в мережу в момент, коли стрілка приладу опиниться посередині шкали в нульовій точці.

2.3 Метод самосинхронізації

Сутність методу самосинхронізації полягає в наступному. Ротор СГ обертається за допомогою первинного двигуна зі швидкістю, близькою до синхронної при відсутності струму в обмотці збудження генератора. Потім обмотка статора включається в мережу і одразу ж подається постійний струм на обмотку збудження. СГ при цьому збуджується і самостійно втягується в синхронізм з мережею. По причині невиконання умов рівності напруги і частоти генератора та мережі, в обмотках статора СГ можливі безпечні для генератора підвищені струми. За стандартом ці струми не повинні перевищувати номінальний струм генератора більше чим в 3,5 рази. Крім того, при такому способі включення під час першого включення слід перевірити відповідність чередування фаз генератора та мережі.

Переваги методу самосинхронізації: відносна простота; не потребує великої точності; дозволяє швидко та безпечно включи-

ти генератор на паралельну роботу, що дуже важливо при аварійних режимах, коли необхідно забезпечити швидке включення резервних СГ та відновлення нормального енергозабезпечення споживачів. З цих причин метод самосинхронізації з використанням елементів автоматики дістав в наш час широкого практичного застосування.

2.4 Регулювання активної потужності синхронного генератора

Після включення генератора на паралельну роботу його навантажують активною потужністю. Для цього необхідно збільшити момент обертання первинного двигуна. Якщо первинним двигуном є двигун постійного струму паралельного збудження, то збільшення його моменту обертання виконується шляхом деякого зменшення струму збудження або збільшення напруги на затискачах якорю двигуна.

Зменшуючи момент обертання первинного двигуна, можна перевести синхронну машину з генераторного режиму у режим двигуна. Момент переходу можна помітити за потужністю, що вимірюється ватметром, яка становиться негативною, дослід проводиться демонстраційно.

2.5 Регулювання реактивної потужності синхронного генератора

Генератору за допомогою первинного двигуна надають деяке активне навантаження, яка зберігається надалі постійною. Потім починають збільшувати або зменшувати струм збудження синхронного генератора.

При деякому струмі збудження струм в обмотці статора досягає мінімального значення і потім збільшується зміною струмом збудження у будь-який бік. Мінімум струму, як відомо відповідає коефіцієнту потужності, рівному одиниці. При недо-збудженні генератор споживає з мережі реактивну потужність, при перезбудженні – віддає її до мережі. Так як швидкість первинного двигуна зберігається майже незмінною, про що можна судити за показанням відповідних приладів, а струм обмотки статора генератора змінюється, то це означає, що змінюється реактивна потужність генератора. Дослід проводиться демонстраційно.

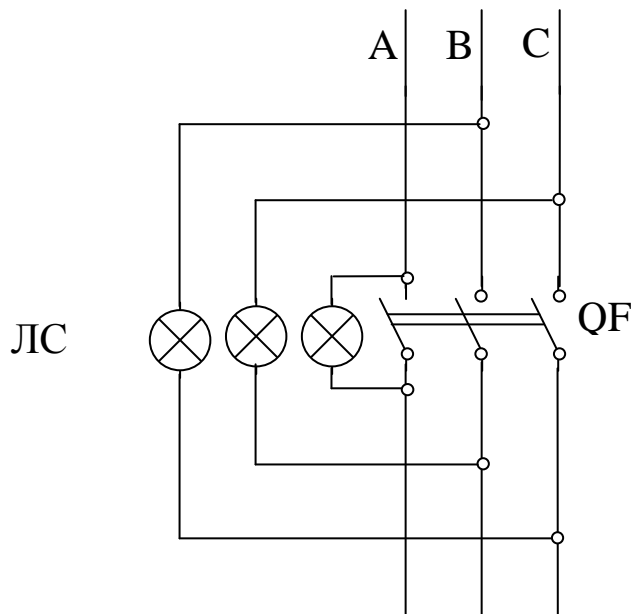


Рисунок 2 – Схема включення лампового синхроскопа на почергове загоряння ламп

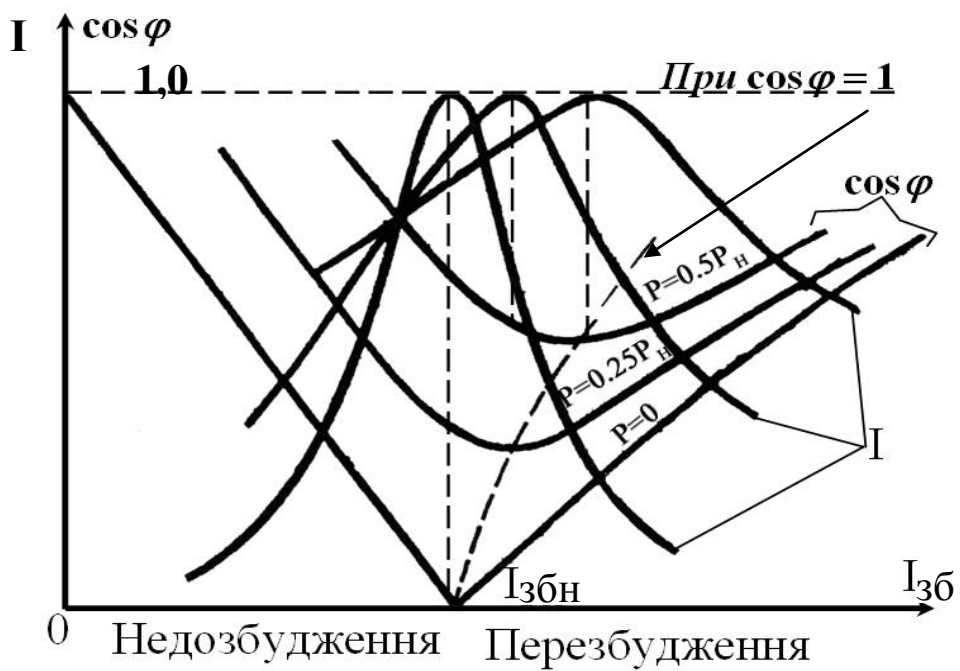


Рисунок 3 – U-подібні характеристики синхронного генератора, що працює паралельно з мережею

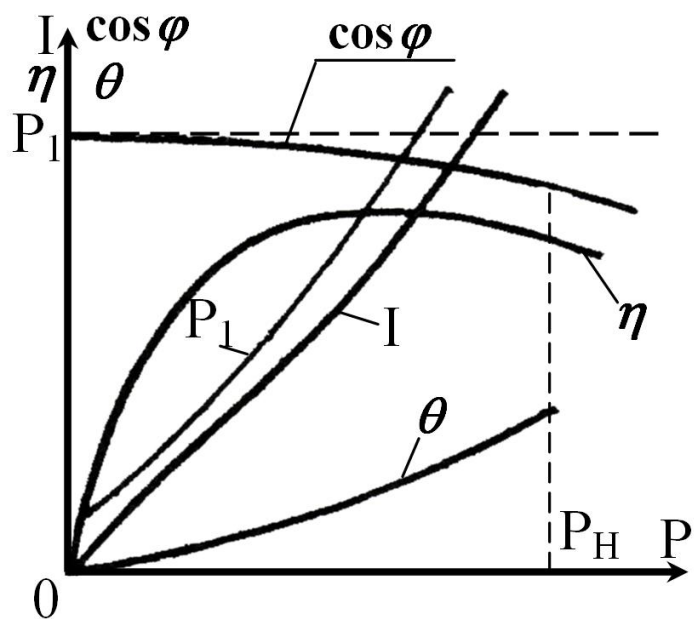


Рисунок 4 – Робочі характеристики синхронного генератора при його паралельній роботі з мережею

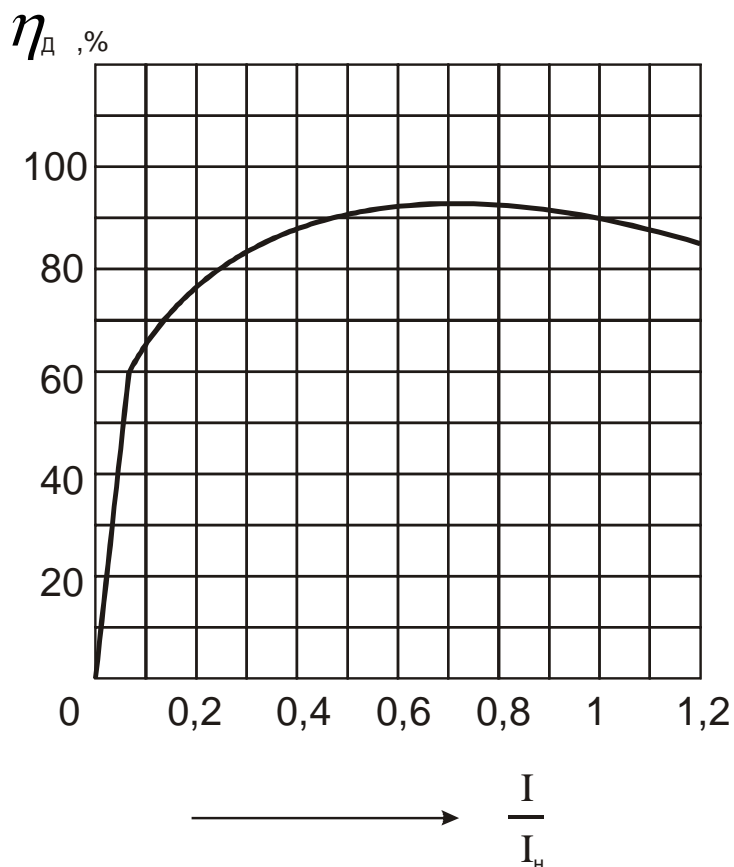


Рисунок 5 – Торировочний графік ККД первинного двигуна постійного струму

2.6 Зняття U-подібної характеристик СГ при паралельній роботі з мережею при $P = const$ та $I_{зб} = var$

U-подібною характеристикою синхронного генератора має назву залежність струму статора I , та коефіцієнту потужності $\cos\varphi$ від струму збудження $I_{зб}$ при незмінній активній потужності P , напрузі U та частоті f_1 , тобто $P = const, U = const$ та $f_n = const$.

Зняття U-подібних характеристик здійснюється за схемою рисунку 1 наступним чином. СГ включається на паралельну роботу з мережею та за рахунок моменту первинного двигуна завантажують СГ до завданої активної потужності $P=0$ (х.х.), $P=0,25P_n$ та $P=0,5P_n$ номінальної потужності генератора. Для кожної з указаних потужностей завантаження СГ зміною струму збудження генератора $I_{зб}$ визначається мінімальний струм статора СГ (при $P=0$ та $I=0$). При цьому коефіцієнт потужності генератора $\cos\varphi=1$. Кожна отримана точка характеристик фіксується значенням струму збудження $I_{зб}$ та струму статора I . Потім від вихідної точки I_{min} по чергово збільшується та зменшується струм збудження до тих пір, поки струм статора не буде приблизно дорівнювати своєму номінальному значенню I_n . В цьому діапазоні зміни струму статора I знімається 2-3 точки кожної гілки U-подібної характеристики з обов'язковим контролем значень струму збудження $I_{зб}$ та струму статора I . Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Данні U-подібних характеристик СГ

U	I_A	I_B	I_C	I	P_A	P_B	P_C	P	$I_{зб}$	$\cos\varphi$	I_δ	U_δ	P_δ
В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	А	В.о.	А	В	Вт
1													
⋮													
15													

В таблиці 1 позначено:

$$I = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C); \quad P = P_A + P_B + P_C; \quad \cos\varphi = \frac{P}{3U \cdot I}, \quad (13.1)$$

де U – напруга на затисках генератора;

I – струм статора генератора.

Потужність, що споживається двигуном з мережі

$$P_{\partial} = U_{\partial} \cdot I_{\partial}, \quad (2)$$

де U_{∂} – напруга, що підводиться до двигуна;

I_{∂} – струм двигуна.

За даними таблиці 1 будуються U-подібні характеристики СГ, приблизний вид яких представлено на рисунку 3.

2.7 Зняття робочих характеристик при паралельній роботі з мережею $P = \text{var ma } I_{3\phi} = \text{const}$.

Робочі характеристики СГ представляють собою графічні залежності струму статора I , ККД η , коефіцієнту потужності $\cos\varphi$, потужності, що підводиться до генератора від первинного двигуна P_1 , та кута навантаження Θ від активної потужності, що віддається до мережі P при незмінних значеннях струму збудження $I_{3\phi}$ та частоти f , тобто

$$I; \eta; \cos\varphi; P_1; \Theta = f(P) \text{ при } I_{3\phi} = \text{const}, U = \text{const}, f = \text{const}$$

Робочі характеристики СГ знімаються по електричній схемі рисунку 1. Після включення генератора на паралельну роботу з мережею змінюють обертальний момент первинного двигуна та регулюють струм збудження генератора $I_{3\phi}$ таким чином, щоб активна потужність P та струм статора I дорівнювали нулю. Встановлений при цьому струм збудження $I_{3\phi}$, який називається нормальним, в подальшому підтримується незмінним. За рахунок збільшення моменту первинного ДПС поступово завантажують генератор від холостого ходу до струму навантаження, що дорівнює $1,25I_n$. В цьому діапазоні зміни навантаження генератора записуються показання приладів в схемі на рисунку 1 для 5-6 значень потужності, що віддається генератором до мережі.

Вимірювання кута навантаження Θ здійснюється стробоскопічним методом. Для цього макет полюсів генератора закріп-

лених на кінці вала і рухомий разом з ним, освітлюють неоновною лампою стробоскопу, включеного до мережі живлення. При співпаданні числа спалахів лампи та частоти обертання макету полюсів, макет візуально сприймається нерухомим. При збільшенні активної потужності генератора, макет полюсів повертається на деякий кут, рівний куту навантаження Θ . Величина кута визначається за шкалою в вигляді круга з градусними діленнями, який нерухомо закріплено на боковій кришці генератора. За вихідне положення макету полюсів приймається момент, коли активна потужність, що віддається генератором до мережі, дорівнює нулю, тобто кут навантаження $\Theta=0$.

Результати вимірів та розрахунків заносяться до таблиці 2.

Таблиця 2 – Данні для побудови робочих характеристик СГ

$I_{3\phi} = \underline{\quad\quad\quad} A$																
U	I_A	I_B	I_C	I	P_A	P_B	P_C	P	Θ	$\cos\varphi$	I_d	U_d	P_d	H_d	P_1	η_e
В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Град.	В.о.	А	В	Вт	в.о.	Вт	В.о.
1																
⋮																
15																

В таблиці 2 позначено:

$$I = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C); \quad P = P_A + P_B + P_C; \quad \cos\varphi = \frac{P}{3U \cdot I}.$$

Де U – напруга на затискаках генератора;
 I – струм статора генератора.

Потужність що споживається первинним P_d двигуном з мережі розраховується за формулою (2).

Потужність на валу ДПС, яка дорівнює провинній потужності СГ визначається по формулі

$$P_1 = P_d \cdot \eta_d, \quad (3)$$

Де η_0 - ККД двигуна постійного струму. Визначається по торировочній кривій ККД рисунку 5.

Коефіцієнт корисної дії СГ

$$\eta_z = \frac{P}{P_1} \cdot 100. \quad (4)$$

За даними таблиці 2 необхідно побудувати робочі характеристики СГ при паралельній роботі з мережею. Приблизний вид робочих характеристик представлено на рисунку 4.

3 Вказівки щодо оформлення звіту

В звіті по лабораторній роботі повинно бути наведено:

3.1 Електрична схема включення СГ на паралельну роботу з мережею, що наведена на рисунку 1.

3.2 Таблиця 1 з дослідними та розрахунковими даними для побудови U-подібних характеристик СГ на паралельній роботі з мережею.

3.3 Таблиця 2 з дослідними та розрахунковими даними для побудови робочих характеристик СГ на паралельній роботі з мережею.

3.4 Розрахункові формули для визначення $\cos\varphi$, P_0 , P_1 та η_z (1-4).

3.5 U-подібні та робочі характеристики СГ при паралельній роботі з мережею.

3.6 Технічна характеристика дослідного СГ та іншого обладнання та приладів, що були використані в роботі.

3.7 Аналіз отриманих результатів, в якому необхідно указати методи включення СГ на паралельну роботу та способів регулювання активної та реактивної потужності СГ при паралельній роботі з мережею, а також поясненням властивостей СГ в режимі U-подібних характеристик при нормальному збудженні, перезбудженні та недозбудженні.

4 Контрольні питання

4.1 З якою метою СГ включаються на паралельну роботу з мережею?

4.2 Назвіть умови або вимоги, які необхідно виконати при включенні СГ на паралельну роботу з мережею.

4.3 Що таке синхронізація СГ з мережею?

4.4 Як називається пристрій, який забезпечує синхронізацію СГ з мережею? Назвіть види таких пристроїв.

4.5 Що представляє собою ламповий синхроскоп?

4.6 Назвіть два основних методи синхронізації СГ з мережею.

4.7 В чому складається суть методу самосинхронізації або грубої синхронізації, його переваги?

4.8 Як за допомогою лампового синхроскопу перевіряється виконання умов включення СГ на паралельну роботу з мережею?

4.9 Як здійснюється регулювання активного та реактивного навантаження СГ при його паралельній роботі з мережею?

4.9 Які залежності називаються U-подібними характеристиками СГ?

4.10 Поясніть методику зняття U-подібних характеристик СГ.

4.11 Приведіть та поясніть вид U-подібних характеристик СГ.

4.12 Які залежності називаються робочими характеристиками СГ, що працює паралельно з мережею?

4.13 Поясніть методику зняття робочих характеристик СГ.

4.14 Приведіть та поясніть вид робочих характеристик СГ.

4.15 Поясніть особливості та властивості СГ, що працює паралельно з мережею в режимах нормального збудження, недо-збудження та перезбудження.

4.16 Що називається кутом навантаження СГ? Назвіть приблизну величину кута навантаження при номінальному активному навантаженні СГ.

4.17 Як здійснюється завантаження потужністю СГ після його включення на паралельну роботу з мережею?

Лабораторна робота

ДОСЛІДНЕ ОТРИМАННЯ U-ПОДІБНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА

Мета роботи

Придбання практичних навичок пуску трифазного синхронного двигуна та дослідження його властивостей шляхом зняття U-подібних характеристик

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Опрацювати по рекомендованій літературі [1-4] матеріал, що стосується особливості конструкції та пуску синхронних двигунів (СД), а також його статичних характеристик в сталих режимах роботи.

1.2 По даним рекомендаціям, а також по [5, 6] детально ознайомитися зі схемою асинхронного пуску СД та методикою зняття та побудови його основних характеристик.

1.3 Усно відповісти на контрольні питання до даної лабораторної роботи.

1.4 Підготувати бланк звіту по лабораторній роботі встановленої форми з наведенням електричних схем пуску та випробування СД та таблиць для запису дослідних та розрахункових даних.

1.5 Ознайомитись з робочим місцем для випробування трифазного СД. Записати технічну характеристику дослідного СД, а також типи обраних для проведення дослідів вимірювальних приладів.

1.6 Зібрати електричну схему асинхронного пуску СД та впустити двигун в хід.

1.7 Зняти та побудувати U-подібні характеристики СД.

1.8 Опрацювати дослідні дані, провести аналіз отриманих результатів випробування СД.

1.9 Оформити звіт по лабораторній роботі.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Пуск синхронного двигуна

Синхронний двигун в відмінності від асинхронного двигуна не розвиває пускового моменту і ця обставина в значній мірі ускладнює задачу пуску. Для цілей пуску на роторі СД виконується спеціальна пускова обмотка. Конструктивно пускова обмотка СД представляє собою короткозамкнену обмотку типу «біляча клітка» в загальних рисах аналогічну короткозамкненій обмотці ротора асинхронного двигуна. Роль пускової обмотки у СД невеликої потужності можуть також виконувати масивні частини полюсів ротора.

Розрізняють наступні способи пуску СД загальнопромислового призначення:

- асинхронний пуск СД;
- частотний пуск СД;
- пуск СД за допомогою розгінного двигуна з наступною точною синхронізацією або самосинхронізацією СД з мережею.

Для частотного пуску СД необхідна спеціальна установка в вигляді перетворювача частоти з можливістю регулювання частоти з потужністю не меншою, чим потужність СД.

Пуск СД за допомогою розгінного двигуна розрізняється великими габаритами і вартістю, та практично не знайшов застосування.

В наш час основним способом пуску СД є асинхронний пуск. Сутність асинхронного пуску СД полягає в наступному. Обмотка статора СД включається в мережу змінного струму на номінальну або знижену напругу. По обмотці потече струм і створюється обертове магнітне поле, яке буде перетинати пускову обмотку на роторі і наводити в ній ЕРС та струми. В результаті взаємодії магнітного поля статора зі струмами пускової обмотки ротора створюється пусковий момент, під дією якого ротор СД буде обертатися зі швидкістю, меншою швидкості магнітного поля, тобто асинхронною швидкістю як в АД. Якщо подати постій-

ний струм в обмотку збудження на роторі, створюється магнітний потік збудження, під дією якого СД втягнеться в синхронізм.

Зазначимо особливості асинхронного пуску СД:

1. Забороняється пускати СД зі збудженим ротором.
2. Не допускається пуск СД з розімкненою обмоткою збудження.
3. Пуск СД виконується лише при замкненій обмотці збудження на період пуску двигуна на активний опір, який приблизно дорівнює 8-10 власного опору обмотки збудження. Після пуску цей опір відключається і на обмотку збудження подається постійний струм.

Допускається також пуск АД з наглухо підключеним до обмотки збудження збуджувача СД, який розміщено на одному валу з ротором двигуна. Докладно особливості асинхронного пуску СД розглядаються в рекомендованій літературі та лекційному курсі.

Електрична схема асинхронного пуску досліджуваного СД приведена на рисунку 1.

Перед пуском СД обмотка збудження $I1-I2$ за допомогою перекидного рубильника P замикається на активний розрядний опір R_p (Положення «Пуск»). Реостат в колі збудження збуджувача (З) $R_{зб.}$ на період пуску повністю виводиться, щоб збуджувач, який представляє собою ГПС паралельного збудження, в процесі пуску СД збудився. Для контролю цього процесу встановлено вольтметр $U_{зб.}$. Пуск СД в хід здійснюється за допомогою вимикача $QF1$. Завершення пуску СД можна контролювати по стрільці амперметра $PA1$ включеного в одну з фаз живлячої мережі. В початковий момент пуску стрілка прибору покаже максимальний пусковий струм СД. По мірі розгону ротора величина струму буде знижуватися. Виникнення коливань стрілки амперметра з частотою ковзання свідчить про завершення розбігу та необхідності подачі струму в обмотку збудження $I1-I2$ за допомогою перекидного рубильника P , переключивши його в положення «Робота» на затиски збуджувача (З). при підключенні обмотки збудження до збуджувача необхідно також введенням реостату $R_{зб.}$ знизити

струм збудження $I_{зб}$. та встановити мінімальний струм статора СД. На цьому пуск СД завершується та можна приступати до його випробування.

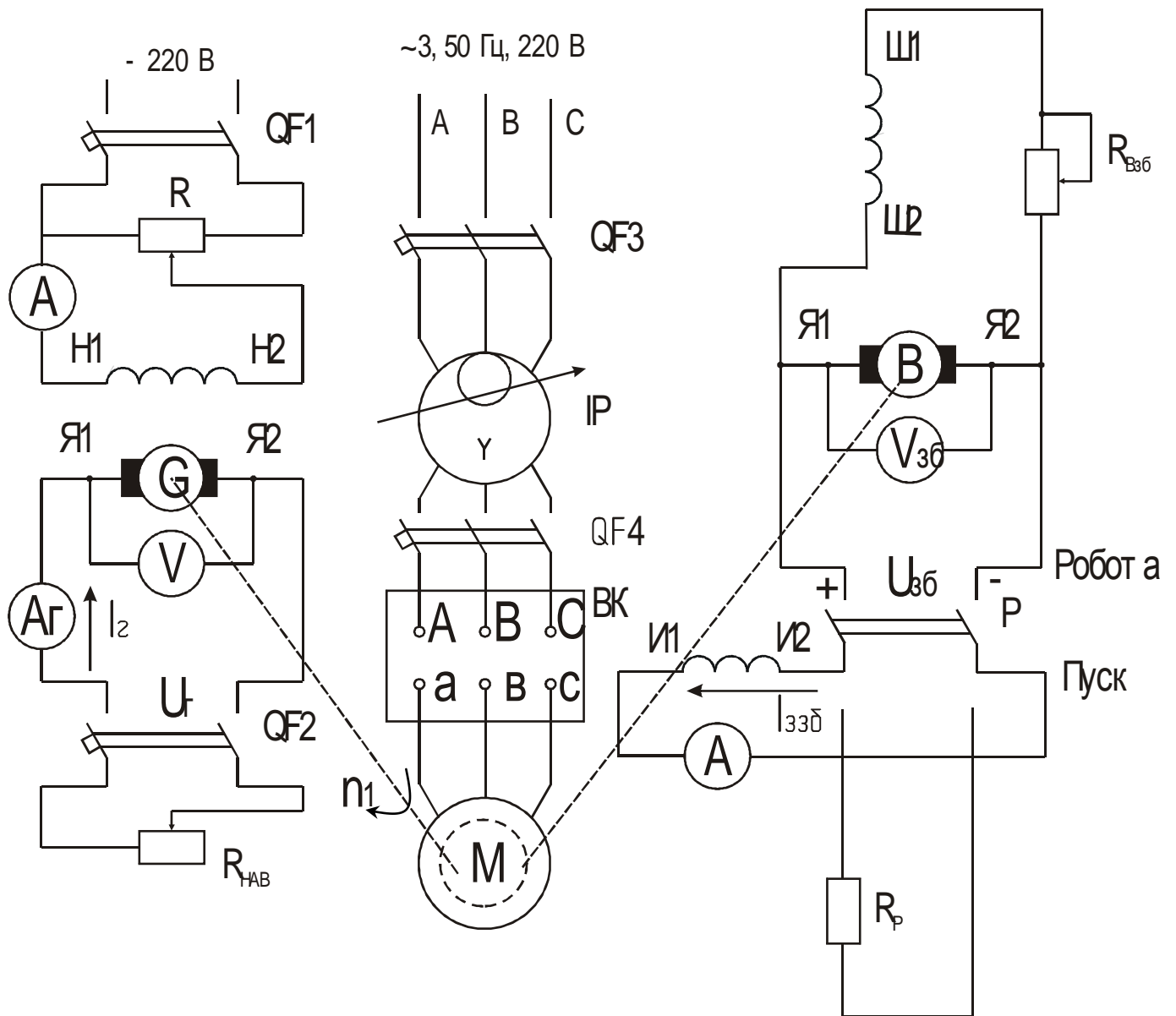


Рисунок 1 – Електрична схема дослідження синхронного двигуна

2.2 Зняття та побудова U-подібних характеристик СД

U-подібною (рис. 2) характеристикою синхронного двигуна називають залежність

$I, \cos \varphi = f(I_{зб.})$ при $P_2(M_2) = const, U = const$ та $f_H = const$.

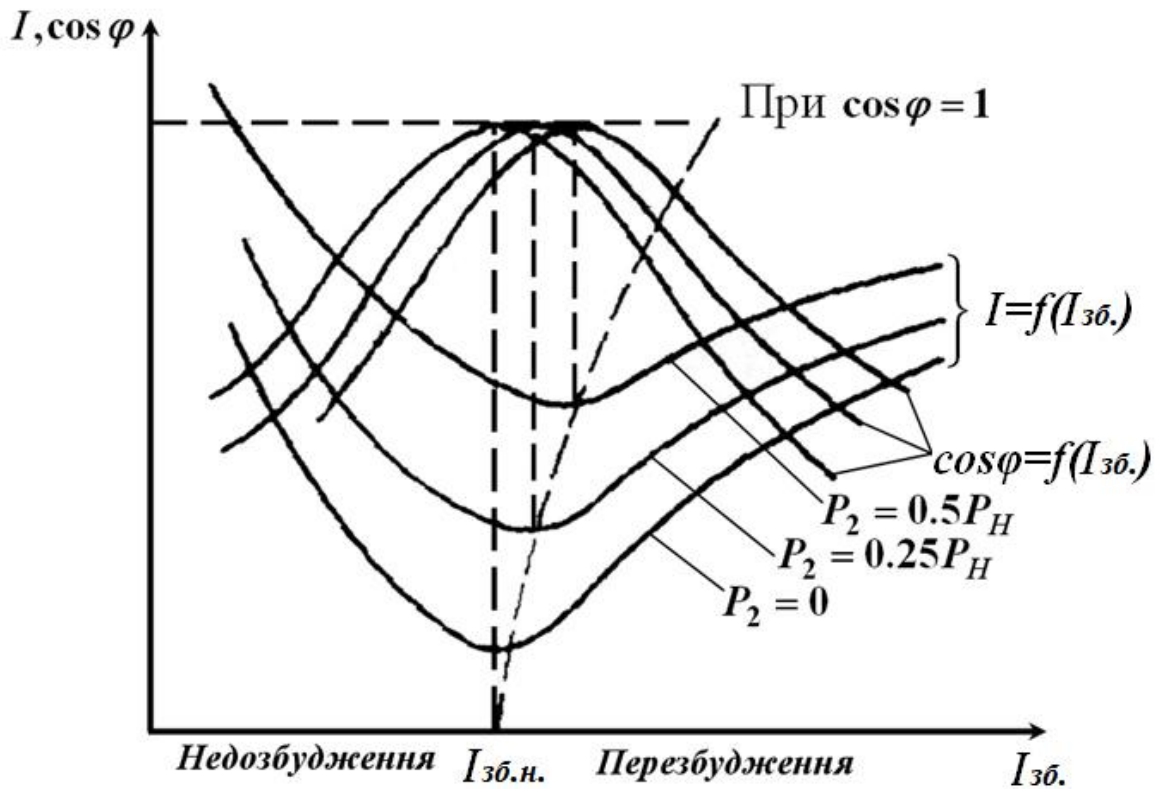


Рисунок 2 – U-подібні характеристики синхронного двигуна

Отримують U-подібні характеристики за електричною схемою рисунку 1 в наступній послідовності. Після пуску СД при відключеному навантажувальному ГПС знімається U-подібна характеристика при $P_2=0$ на холостому ході двигуна. Зміною струму збудження $I_{зб.}$ СД визначається мінімальний струм статора $I=I_0$, що відповідає коефіцієнту потужності двигуна $\cos\varphi=1$. Отримана точка фіксується значеннями струмів $I_{зб.}$ та I . Найбільший струм статора при цьому не повинен перевищувати номінального значення $I \leq I_n$. Обидві гілки характеристики від I_{min} знімаються при 2-3 замірах струмів $I_{зб.}$ та I . Аналогічно знімаються U-подібні характеристики при $P_2=0,25P_n$ та $P_2=0,5P_n$. Завантаження

двигуна на указаних потужностях здійснюється навантажувальним ГПС. Результати вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Данні U-подібних характеристик СД

Номер дослід.	U	I_A	I_B	I_C	I	P_A	P_B	P_C	P_1	$I_{3\phi}$	I_2	U_2	P_2	$\cos\varphi$	η_2	P_2
	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	А	А	В	Вт	в.о.	в.о.	Вт
1																
⋮																
15																

В таблиці 1 позначено:

$$I = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C); \quad P_1 = P_A + P_B + P_C; \quad \cos\varphi = \frac{P_1}{3U \cdot I}. \quad (1)$$

де U – напруга на затискачах генератора, В;

I – струм статора генератора, А.

Потужність навантажувального генератора

$$P_2 = U_2 \cdot I_2, \quad (2)$$

де U_2 – напруга генератора, В;

I_2 – струм генератора, А.

Корисна потужність на валу СД

$$P_2 = \frac{P_2}{\eta_2}, \quad (3)$$

де η_2 – ККД навантажувального генератора. Визначається по торировочному графіку ККД ГПС $\eta_2 = f\left(\frac{I_2}{I_{2H}}\right)$, представленою на рисунку 3.

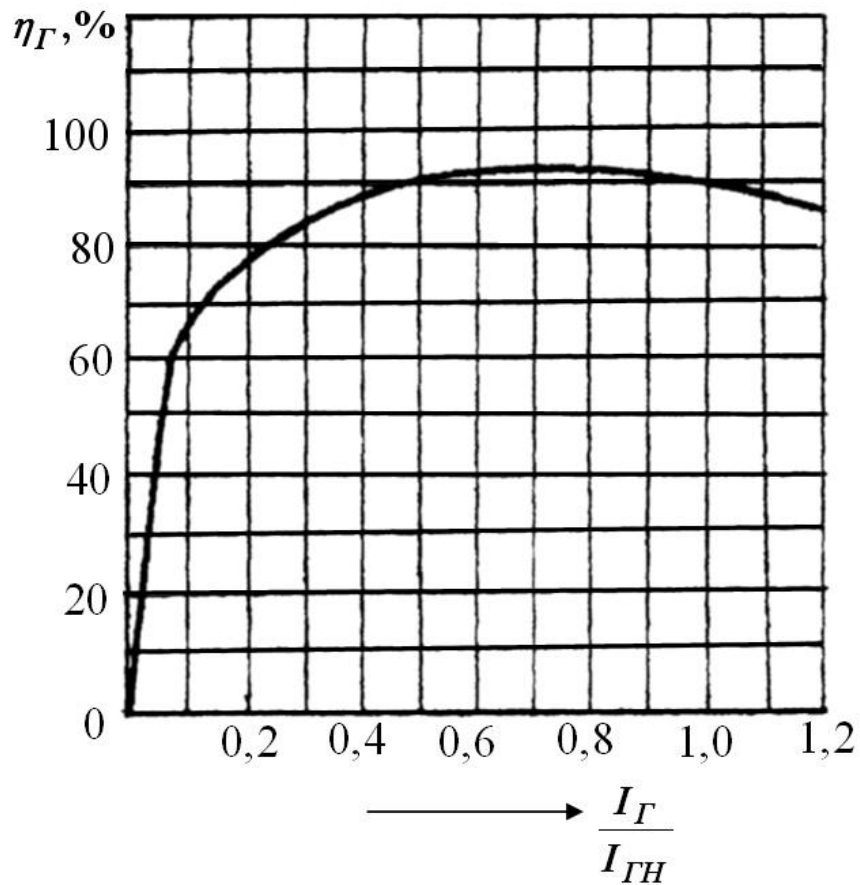


Рисунок 3 – Графік ККД навантажувального генератора постійного струму

За даними таблиці 1 слід побудувати U-подібні характеристики СД, приблизний вид яких представлено на рисунку 2.

3 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

3.1 Електричну схему асинхронного пуску та дослідження СД, що наведена на рисунку 1.

3.2 Таблицю 1 з дослідними та розрахунковими даними для побудови U-подібних СД.

3.3 Формули для визначення розрахункових величин та розрахунків номінальних значень струму статора I_n та моменту M_n дослідного СД.

3.4 U-подібні характеристики дослідного СД.

3.5 Технічну характеристику дослідного СД із збуджувачем та іншого обладнання та приладів, що були використані в роботі.

3.6 Аналіз знятих U-подібних характеристик СД та перелік основних експлуатаційних властивостей трифазного СД та його переваг стосовно $\cos\varphi$ та можливості компенсації реактивної потужності в живлячих мережах.

4 Контрольні питання

4.1 В чому складається особливість конструкції трифазного синхронного двигуна в порівнянні з синхронним генератором?

4.2 Назвіть способи піску синхронних двигунів. Який з них є основним способом пуску синхронних двигунів?

4.3 Як здійснюється асинхронний пуск синхронних двигунів?

4.4 Яку будову має пускова обмотка на роторі трифазного синхронного двигуна?

4.5 З якої причини забороняється пуск синхронних двигунів зі збудженим ротором, а також з розімкнутою обмоткою збудження?

4.6 Призначення розрядного активного опору, на який замикається обмотка збудження при пуску синхронного двигуна. Приблизна величина розрядного опору.

4.7 Які залежності називаються U-подібними характеристиками синхронного двигуна?

4.8 Поясніть методику зняття U-подібних характеристик синхронного двигуна.

4.9 Приведіть та поясніть U-подібні характеристики синхронного двигуна.

4.10 Яким чином здійснюється регулювання реактивної потужності синхронного двигуна?

4.11 Як здійснюється встановлення коефіцієнта потужності $\cos\varphi=1$ у синхронному двигуні?

4.12 Назвіть три режими збудження СД та назвіть їх особливості.

4.13 Як визначаються значення номінального струму та номінального моменту СД?

4.15 При яких умовах і як СД може бути використаний в якості компенсатора реактивної потужності в живлячих мережах змінного струму?

Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА В РЕЖИМІ НАВАНТАЖЕННЯ

Мета роботи

Придбання практичних навичок пуску трифазного синхронного двигуна та дослідження його робочих властивостей шляхом зняття робочих характеристик

1 Завдання для самостійної підготовки

1.1 Опрацювати по рекомендованій літературі [1-4] матеріал, що стосується особливості конструкції та пуску синхронних двигунів (СД), а також його статичних характеристик в сталих режимах роботи.

1.2 По даним рекомендаціям, а також по [5, 6] детально ознайомитися зі схемою асинхронного пуску СД та методикою зняття та побудови його основних характеристик.

1.3 Усно відповісти на контрольні питання до даної лабораторної роботи.

1.4 Підготувати бланк звіту по лабораторній роботі встановленої форми з наведенням електричних схем пуску та випробування СД та таблиць для запису дослідних та розрахункових даних.

1.5 Ознайомитись з робочим місцем для випробування трифазного СД. Записати технічну характеристику дослідного СД, а також типи обраних для проведення дослідів вимірювальних приладів.

1.6 Зібрати електричну схему асинхронного пуску СД та впустити двигун в роботу.

1.7 Зняти та побудувати робочі характеристики СД.

1.8 Опрацювати дослідні дані, провести аналіз отриманих результатів випробування СД.

1.9 Оформити звіт по лабораторній роботі.

2 Основні теоретичні положення і вказівки по виконанню

2.1 Пуск синхронного двигуна

Синхронний двигун в відмінності від асинхронного двигуна не розвиває пускового моменту і ця обставина в значній мірі ускладнює задачу пуску. Для цілей пуску на роторі СД виконується спеціальна пускова обмотка. Конструктивно пускова обмотка СД представляє собою короткозамкнену обмотку типу «біляча клітка» в загальних рисах аналогічну короткозамкненій обмотці ротора асинхронного двигуна. Роль пускової обмотки у СД невеликої потужності можуть також виконувати масивні частини полюсів ротора.

Розрізняють наступні способи пуску СД загальнопромислового призначення:

- асинхронний пуск СД;
- частотний пуск СД;
- пуск СД за допомогою розгінного двигуна з наступною точною синхронізацією або самосинхронізацією СД з мережею.

Для частотного пуску СД необхідна спеціальна установка в вигляді перетворювача частоти з можливістю регулювання частоти з потужністю не меншою, чим потужність СД.

Пуск СД за допомогою розгінного двигуна розрізняється великими габаритами і вартістю, та практично не знайшов застосування.

В наш час основним способом пуску СД є асинхронний пуск. Сутність асинхронного пуску СД полягає в наступному. Обмотка статора СД включається в мережу змінного струму на номінальну або знижену напругу. По обмотці потече струм і створюється обертове магнітне поле, яке буде перетинати пускову обмотку на роторі і наводити в ній ЕРС та струми. В результаті взаємодії магнітного поля статора зі струмами пускової обмотки ротора створюється пусковий момент, під дією якого ротор СД буде обертатися зі швидкістю, меншою швидкості магнітного поля, тобто асинхронною швидкістю як в АД. Якщо подати постійний струм в обмотку збудження на роторі, створюється магнітний потік збудження, під дією якого СД втягнеться в синхронізм.

Відмітимо особливості асинхронного пуску СД:

4. Забороняється пускати СД зі збудженим ротором.

5. Не допускається пуск СД з розімкненою обмоткою збудження.

6. Пуск СД виконується лише при замкненій обмотці збудження на період пуску двигуна на активний опір, який приблизно дорівнює 8-10 власного опору обмотки збудження. Після пуску цей опір відключається і на обмотку збудження подається постійний струм.

Допускається також пуск АД з наглухо підключеним до обмотки збудження збуджувача СД, який розміщено на одному валу з ротором двигуна. Докладно особливості асинхронного пуску СД розглядаються в рекомендованій літературі та лекційному курсі.

Електрична схема асинхронного пуску досліджуваного СД приведена на рисунку 1.

Перед пуском СД обмотка збудження $I1-I2$ за допомогою перекидного рубильника P замикається на активний розрядний опір R_p (Положення «Пуск»). Реостат в колі збудження збуджувача (З) $R_{зб.}$ на період пуску повністю виводиться, щоб збуджувач, який представляє собою ГПС паралельного збудження, в процесі пуску СД збудився. Для контролю цього процесу встановлено вольтметр $U_{зб.}$. Пуск СД вхід здійснюється за допомогою вимикача $QF1$. Завершення пуску СД можна контролювати по стрільці амперметра $PA1$ включеного в одну з фаз живлячої мережі. В початковий момент пуску стрілка прибору покаже максимальний пусковий струм СД. По мірі розгону ротора величина струму буде знижуватися. Виникнення коливань стрілки амперметра з частотою ковзання свідчить про завершення розбігу та необхідності подачі струму в обмотку збудження $I1-I2$ за допомогою перекидного рубильника P , переключивши його в положення «Робота» на затиски збуджувача (З). при підключенні обмотки збудження до збуджувача необхідно також введенням реостату $R_{зб.}$ знизити струм збудження $I_{зб.}$ та встановити мінімальний струм статора

СД. На цьому пуск СД завершується та можна приступати до його випробування.

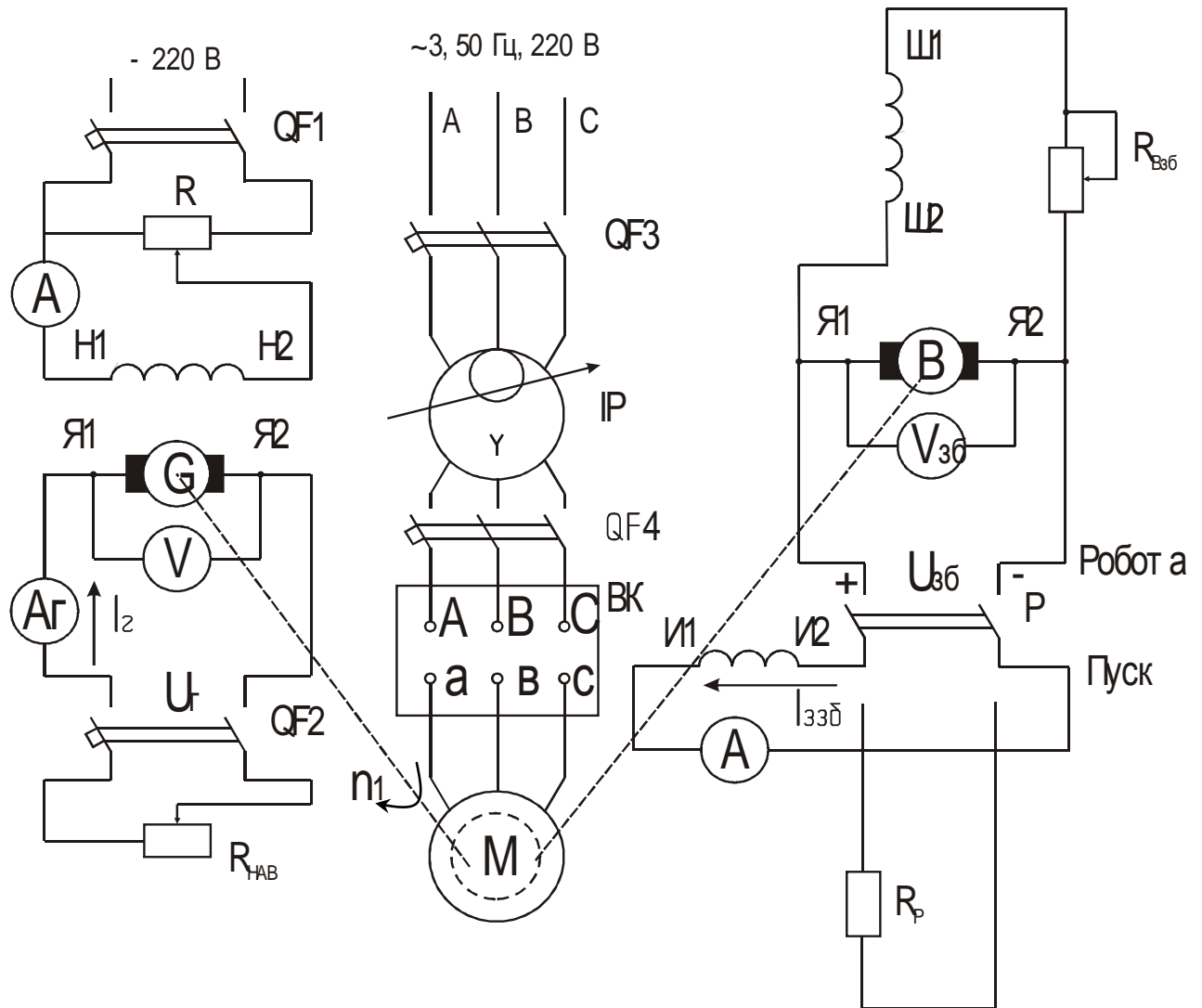


Рисунок 1 – Електрична схема дослідження синхронного двигуна

2.2 Зняття та побудова робочих характеристик СД

Робочі характеристики СД представляють собою графічні залежності струму статора I , потужності, що споживається дви-

гуном з мережі P_1 , коефіцієнту корисної дії η , коефіцієнту потужності $\cos\varphi$, електромагнітного моменту M та корисного моменту M_2 від корисно потужності P_2 на валу двигуна при незмінних значеннях напруги U , струму збудження $I_{зб.}$ та частоти f , тобто

$$I; \eta; \cos\varphi; P_1; M, M_2 = f(P_2) \text{ при } I_{зб.} = const, U = const, f = const.$$

Робочі характеристики СД знімаються по електричній схемі рисунку 1. Дослід навантаження СД проводиться в наступній послідовності. Проводиться пуск СД, потім на холостому ході навантажувального генератора постійного струму (G), зміною струму збудження двигуна $I_{зб.}$ встановлюється $\cos\varphi=1$ при мінімальному значенні струму статора I_{min} . Встановлений таким чином струм збудження $I_{зб.}$ двигуна на протязі досліду навантаження СД підтримується незмінним. Знявши данні досліду х.х. СД, подається струм в обмотку збудження Н1-Н2 навантажувального ГПС, який забезпечує напругу на затискач ГПС рівною номінальному значенню $U_{гн}$, яка підтримується незмінною. Потім ГПС завантажується рідинним реостатом РР таким чином, щоб струм статора СД змінювався в межах від I_0 (х.х.) до $I=1,25I_n$. Навантаження СД змінюється через рівні інтервали і знімається 5-6 точок при значеннях струму статора в указаних межах. Данні вимірювань та розрахунків заносяться до таблиці 1.

Таблиця 1 – Данні для побудови робочих характеристик СД
 $I_{зб.} = A$

Номер досліду	U	I_A	I_B	I_C	I	P_A	P_B	P_C	P_1	$\cos\varphi$	I_2	U_2	P_2	η_2	P_2	η_0	M_2
	В	А	А	А	А	Вт	Вт	Вт	Вт	в.о.	А	В	Вт	в.о.	Вт	в.о.	Н·м
1																	
⋮																	
6																	

В таблиці 1 позначено:

$$I = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C); \quad P_1 = P_A + P_B + P_C; \quad \cos\varphi = \frac{P_1}{3U \cdot I}. \quad (1)$$

де U – напруга на затискачах СД, В;

I – струм статора СД, А.

Потужність навантажувального генератора

$$P_2 = U_2 \cdot I_2, \quad (2)$$

де U_2 – напруга генератора, В;

I_2 – струм генератора, А.

Корисна потужність на валу СД

$$P_2 = \frac{P_2}{\eta_2}, \quad (3)$$

де η_2 – ККД навантажувального генератора. Визначається по торировочному графіку ККД ГПС $\eta_2 = f\left(\frac{I_2}{I_{2H}}\right)$, представленою на рисунку 2.

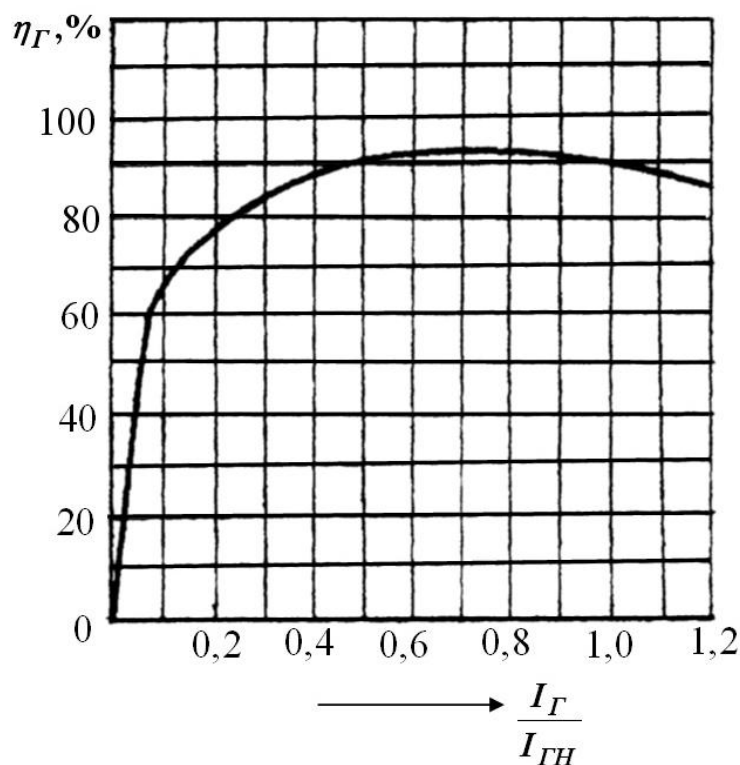


Рисунок 2 – Графік ККД навантажувального генератора постійного струму

Коефіцієнт корисної дії синхронного двигуна

$$\eta_{\partial} = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100. \quad (4)$$

Корисний момент синхронного двигуна

$$M_2 = \frac{P_2}{\Omega_1}, \quad (5)$$

де Ω_1 – синхронна кутова швидкість двигуна, рад/с.

При цьому

$$\Omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30}, \quad n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \quad (6)$$

де n_1 – синхронна частота обертання ротора двигуна, об./хв.;
 p – число пар полюсів синхронного двигуна.

Електромагнітний момент синхронного двигуна

$$M = M_0 + M_2, \quad (7)$$

де M_0 – момент холостого хода СД, Н·м, рівний

$$M_0 = \frac{P_0}{\Omega_1}, \quad (8)$$

Значення P_0 можна отримати з таблиці для режиму х.х. $P_1 = P_0$ при $P_2 = 0$ ($I_2 = 0$).

За даними таблиці 1 необхідно побудувати робочі характеристики СД. Приблизний вид робочих характеристик представлено на рисунку 3.

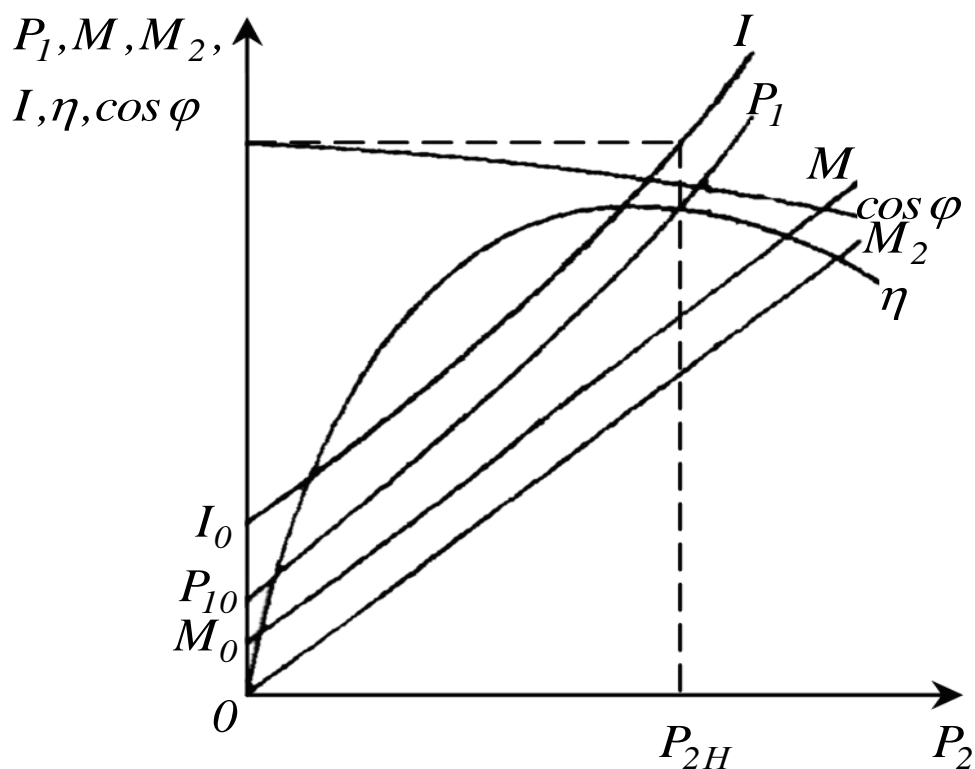


Рисунок 3 – Робочі характеристики синхронного двигуна

3 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

3.1 Електричну схему асинхронного пуску та дослідження СД, що наведена на рисунку 1.

3.2 Таблицю 1 з дослідними та розрахунковими даними для побудови робочих характеристик СД.

3.3 Рівняння для визначення розрахункових величин та розрахунок номінальних значень струму статора I_n та моменту M_n дослідного СД.

3.4 Робочі характеристики СД.

3.5 Технічну характеристику дослідного СД із збуджувачем та іншого обладнання та приладів, що були використані в роботі.

3.6 Аналіз знятих U-подібних характеристик СД та перелік основних експлуатаційних властивостей трифазного СД та його переваг стосовно $\cos\varphi$ та можливості компенсації реактивної потужності в живлячих мережах.

4 Контрольні питання

4.1 В чому складається особливість конструкції трифазного синхронного двигуна в порівнянні з синхронним генератором?

4.2 Назвіть способи піску синхронних двигунів. Який з них є основним способом пуску синхронних двигунів?

4.3 Як здійснюється асинхронний пуск синхронних двигунів?

4.4 Яку будову має пускова обмотка на роторі трифазного синхронного двигуна?

4.5 З якої причини забороняється пуск синхронних двигунів зі збудженим ротором, а також з розімкнутою обмоткою збудження?

4.6 Призначення розрядного активного опору, на який замикається обмотка збудження при пуску синхронного двигуна. Приблизна величина розрядного опору.

4.7 Яким чином здійснюється регулювання реактивної потужності синхронного двигуна?

4.8 Як здійснюється встановлення коефіцієнта потужності $\cos\varphi=1$ у синхронному двигуні?

4.9 Назвіть три режими збудження синхронного двигуна та назвіть їх особливості.

4.10 Які графічні залежності називаються робочими характеристиками синхронного двигуна?

4.11 Поясніть методику зняття робочих характеристики синхронного двигуна.

4.12 Приведіть та поясніть вид робочих характеристик синхронного двигуна.

4.13 Як визначаються значення номінального струму та номінального моменту синхронного двигуна?

4.14 Як визначаються електромагнітний, корисний та момент холостого ходу синхронного двигуна?

4.15 При яких умовах і як синхронний двигун може бути використаний в якості компенсатора реактивної потужності в живлячих мережах змінного струму? Наведіть позначення виводів обмоток синхронного двигуна.

**Додаток А
(Обов'язковий)**

**ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗГОРНУТОЇ СХЕМИ
ТРИФАЗНОЇ ОБМОТКИ ЗМІННОГО СТРУМУ**

№ варіанта	Кількість фаз обмотки	Кількість пазів статора	Кількість полюсів	Кількість паралельних гілок
ОДНОШАРОВІ КОНЦЕНТРИЧНІ ОБМОТКИ				
1	$m=3$	$Z_1=24$	$2p=2$	$a=1$
3	$m=3$	$Z_1=24$	$2p=4$	$a=1$
5	$m=3$	$Z_1=24$	$2p=8$	$a=1$
7	$m=3$	$Z_1=24$	$2p=4$	$a=2$
8	$m=3$	$Z_1=36$	$2p=4$	$a=1$
11	$m=3$	$Z_1=36$	$2p=4$	$a=3$
13	$m=3$	$Z_1=36$	$2p=6$	$a=1$
15	$m=3$	$Z_1=36$	$2p=6$	$a=3$
17	$m=3$	$Z_1=48$	$2p=4$	$a=1$
19	$m=3$	$Z_1=48$	$2p=4$	$a=2$
21	$m=3$	$Z_1=54$	$2p=6$	$a=1$
23	$m=3$	$Z_1=54$	$2p=6$	$a=2$
25	$m=3$	$Z_1=54$	$2p=4$	$a=1$
ДВОШАРОВІ ПЕТЛЕВІ РІВНОСЕКЦІЙНІ ОБМОТКИ				
2	$m=3$	$Z_1=36$	$2p=2$	$a=1$
4	$m=3$	$Z_1=36$	$2p=4$	$a=1$
6	$m=3$	$Z_1=36$	$2p=6$	$a=1$
8	$m=3$	$Z_1=36$	$2p=8$	$a=1$
10	$m=3$	$Z_1=48$	$2p=2$	$a=2$
12	$m=3$	$Z_1=48$	$2p=4$	$a=1$
14	$m=3$	$Z_1=48$	$2p=6$	$a=1$
16	$m=3$	$Z_1=48$	$2p=8$	$a=1$
18	$m=3$	$Z_1=48$	$2p=8$	$a=2$
20	$m=3$	$Z_1=48$	$2p=8$	$a=1$
22	$m=3$	$Z_1=54$	$2p=4$	$a=1$
24	$m=3$	$Z_1=54$	$2p=6$	$a=2$
26	$m=3$	$Z_1=60$	$2p=4$	$a=1$

Додаток Б
(Довідниковий)
СТРУКТУРА УМОВНОГО ПОЗНАЧЕННЯ
АСИНХРОННИХ
ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ СЕРІЇ АИ

А **И** **Х** **Х** **Х** **ХХХ** **Х** **Х** **Х** **Х** **Х** **ХХ**
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

- 1** – род двигуна - Асинхронний;
- 2** – позначення уніфікованої серії Інтерелектро;
- 3** – прив’язка потужності до встановлюваних розмірів або позначення спеціального виконання: Р (АИР) прив’язка встановлюваних розмірів у відповідності з РС3031-71 (СТ СЕВ 4447-83); С (АИС) – те ж у відповідності з нормами CENELEK – DOKUMENT 28/64; М (АИМ) – вибухозахищене виконання; У (АИУ) – вибухозахищене рудничне виконання; Ф(АИФ) – виконання з прилаштованим вентилятором для охолодження двигуна;
- 4** – матеріал станини і підшипникових щитів: Х – станина з алюмінієвого сплаву, щити чавунні; відсутність літери Х означає, що станина і щити виконані з одного матеріалу;
- 5** – модифікації: Р – з підвищеним пусковим моментом, С – з підвищеним ковзанням, В - вбудованого виконання, К – з фазним ротором; 2П – з регулюванням частоти обертання; 4П – двофазні частотнорегулюємі; Б – з природнім охолодженням без зовнішнього вентилятора; В – для привода герметичних і без сальникових поршневих компресорів холодильних машин; П – для привода вентиляторів птахівницьких і тваринницьких приміщень; 3Т – трьохфазний двигун для включення в однофазну мережу з робочим конденсатором; 3УТ – те ж з робочим і пусковим конденсаторами; УТ – двофазний двигун з робочим і пусковим конденсаторами;
- 6** – висота вісі обертання, мм (дві, три цифри);
- 7** – встановлюваний розмір за довжиною станини: S – малий, М – середній, L – довгий;
- 8** - довжина осердя: А – перша довжина, В – друга довжина;

9 – кількість полюсів: 2, 4, 6, 8, 10, 12 або комбінацію числа полюсів у багатошвидкісних двигунів: 4/2, 6/4, 6/4/2, 8/6/4, 12/8/6/4, 8/6, 12/6;

10 – додаткові позначки: Б – з вбудованим температурним захистом; Х – хімоустійкі; Н – мало шумні; Е – з вбудованим електромагнітним гальмом; С – сільськогосподарського призначення; Ж – для моноблочних насосів; Кр – для короткочасного режиму роботи; П – з підвищеною точністю за встановлювальними розмірами; ЭБС – з вбудованим здавачем і електронним блоком температурного захисту; УП – пилозахисний; Ф – фреономаслостійкі; РЗ – для зубчастих мотор-редукторів, ЧР – для частотного регулювання;

11 – кліматичне виконання і категорія розміщення У2, У3, У5, УХЛ1, УХЛ2, Т2.

Додаток В
ТЕСТИ ДЛЯ САМОАНАЛІЗУ З ДИСЦИПЛІНИ
«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ: АСИНХРОННІ І СИНХРОННІ
МАШИНИ»

1 Обмоткою машини змінного струму називається

- 1) розімкнена система провідників, що укладається в пази способом, який визначається типом обмотки, і з'єднана у фази;
- 2) замкнена система провідників, що укладається в пази способом, який визначається типом обмотки, і з'єднана у фази;
- 3) розімкнена система провідників, що укладається в пази способом, який визначається типом обмотки, і з'єднана у секційні групи;
- 4) замкнена система провідників, що укладається в пази способом, який визначається видом осердя і формою пазів, і з'єднана у фази.

2 Крок обмотки називається повним або діаметральним, якщо він (крок)

- 1) дорівнює полюсній подільці;
- 2) дорівнює двократному значенню полюсної поділки;
- 3) більше полюсної поділки;
- 4) менше полюсної поділки.

3 Кількість секцій в секційній групі визначається за рівнянням

1) $q = \frac{z_1}{2p \cdot m_1}$;

2) $q = \frac{z_1}{p \cdot m_1}$;

3) $q = \frac{2 \cdot z_1}{p \cdot m_1}$;

4) $q = \frac{z_1}{2p}$;

4 Обмотка статора машини змінного струму називається скупченою або розподіленою

- 1) якщо q дорівнює 1 - скупчена обмотка; якщо $q \geq 2$ - розподілена обмотка;
- 2) якщо $q \neq 2$ - скупчена обмотка; якщо $q \geq 3$ - розподілена обмотка;
- 3) якщо $q \leq 2$ - скупчена обмотка; якщо $q \geq 3$ - розподілена обмотка;
- 4) якщо q дорівнює 2 - скупчена обмотка; якщо $q > 2$ - розподілена обмотка;

5 Фазна зона трифазної обмотки складає (в електричних градусах)

- 1) 60° ;
- 2) 90° ;
- 3) 180° ;
- 4) 360° .

6 Центральний кут між сусідніми пазами β (ел.гр.) визначається за рівнянням

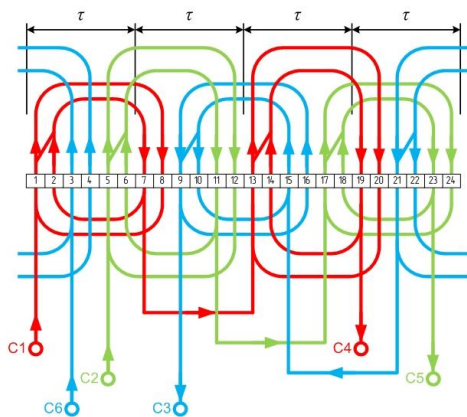
- 1) $\beta = \frac{360 \cdot p}{z_1}$;
- 2) $\beta = \frac{180 \cdot p}{z_1}$;
- 3) $\beta = \frac{360 \cdot 2p}{z_1}$;
- 4) $\beta = \frac{180 \cdot p}{2 \cdot z_1}$.

7 Коефіцієнтом розподілення обмотки називається

- 1) відношення геометричної (векторної) суми магніторушійних або електрорушійних сил, що утворюються секціями обмотки, які розташовані у всіх пазах однієї фази, до їх алгебраїчної суми;

- 2) відношення алгебраїчної суми магніторушійних або електрорушійних сил, що утворюються секціями обмотки, які розташовані у всіх пазах однієї фази, до їх середнього значення;
- 3) відношення середнього значення магніторушійних або електрорушійних сил, що утворюються секціями обмотки, які розташовані у всіх пазах однієї секційної групи, до їх геометричної (векторної) суми;
- 4) відношення алгебраїчної суми магніторушійних або електрорушійних сил, що утворюються секціями обмотки, які розташовані у всіх пазах однієї фази, до їх геометричної (векторної) суми.

8 Вкажіть тип обмотки, наведеної на рисунку



- 1) одношарова концентрична;
- 2) одношарова концентрична дробова;
- 3) двошарова петлева рівносекційна;
- 4) двошарова концентрична дробова.

9 Для поліпшення форми магніторушійної та електрорушійної сили обмотки не використовують

- 1) збільшення кількості витків секцій в секційних групах;
- 2) скорочення кроку обмотки;
- 3) розподілення обмотки за пазами (збільшення кількості секцій в секційній групі);
- 4) скос пазів осердя статора або ротора.

10 Асинхронна машина – це така обертова машина змінного струму, в якій

- 1) швидкість обертання ротора не дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора, при цьому швидкість обертання ротора змінюється при зміні навантаження;
- 2) швидкість обертання ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора, при цьому швидкість обертання ротора не змінюється при зміні навантаження;
- 3) швидкість обертання ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора, при цьому швидкість обертання ротора змінюється при зміні навантаження;
- 4) швидкість обертання ротора не дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора, при цьому швидкість обертання ротора не змінюється при зміні навантаження.

11 Кількість великих і малих секційних груп та кількість секцій в секційних групах обмотки, якщо $q = 2\frac{3}{5}$, складає

- 1) 3 великі секційні групи по 3 секції та 2 малі секційні групи по 2 секції;
- 2) 2 великі секційні групи по 3 секції та 3 малі секційні групи по 2 секції;
- 3) 5 великих секційних груп по 3 секції та 3 малі секційні групи по 2 секції;
- 4) 3 великі секційні групи по 5 секцій та 2 малі секційні групи по 3 секції.

12 Для виготовлення магнітопроводів асинхронних машин використовується

- 1) холоднокатана ізотропна електротехнічна сталь;
- 2) холоднокатана анізотропна електротехнічна сталь;
- 3) гарячекатана електротехнічна сталь;
- 4) конструкційна сталь.

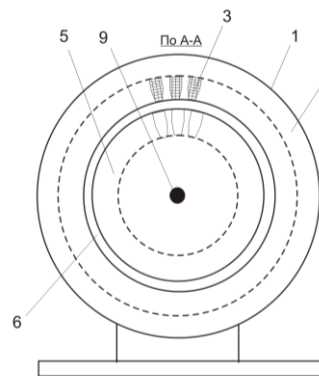
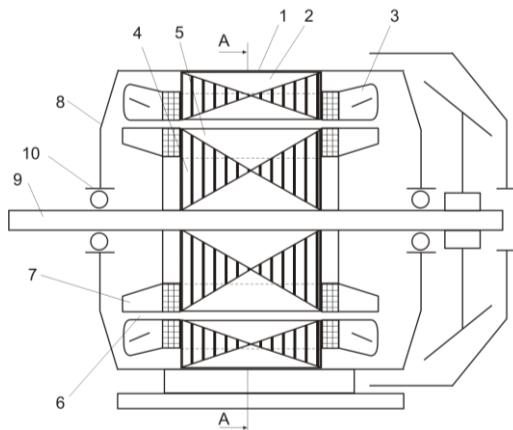
13 Клас ізоляції за нагрівостійкістю обмотувальних проводів для значення висоти вісі обертання $H \leq 132$ мм для асинхронних машин загальнопромислового виконання

- 1) клас ізоляції «В»;
- 2) клас ізоляції «А»;
- 3) клас ізоляції «У»;
- 4) клас ізоляції «F».

14 Яке значення становить величина повітряного проміжку в асинхронних машинах з висотою вісі обертання $H \leq 160$ мм

- 1) 0,2–0,35 мм;
- 2) 0,5–1,5 мм;
- 3) 0,7–2,0 мм;
- 4) 0,4–1,0 мм.

15 Згідно наведеної конструктивної схеми асинхронної машини вкажіть позицію, що позначає обмотку статора

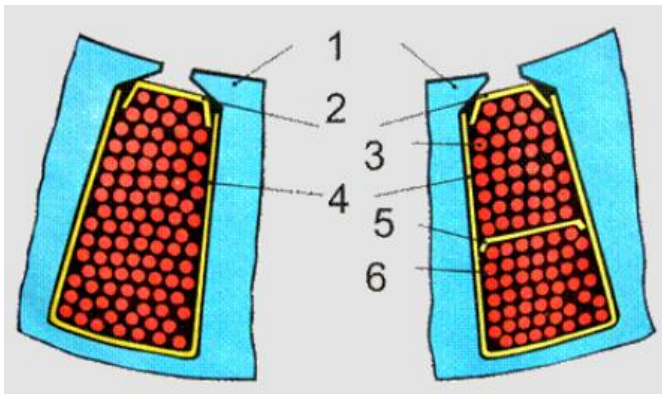


- 1) позиція №3;
- 2) позиція №5;
- 3) позиція №2;
- 4) позиція №4.

16 В асинхронних машинах малої потужності пази статора виконуються

- 1) напівзакритими;
- 2) комбінованими;
- 3) відкритими;
- 4) напіввідкритими.

17 Вкажіть номер позиції, що позначає корпусну ізоляцію



- 1) позиція №4;
- 2) позиція №6;
- 3) позиція №5;
- 4) позиція №2.

18 Вкажіть відмінності в будові статорів асинхронних машин з короткозамкненим і фазним ротором

- 1) відмінності відсутні;
- 2) відмінності полягають у виді застосованого обмотувального проводу (за класом ізоляції) та у виді пазової ізоляції;
- 3) відмінності полягають у формі пазів статора та використанні різних типів обмотки;
- 4) відмінності полягають в товщині листів осердя статора та виду ізоляції: оксидна або лакова.

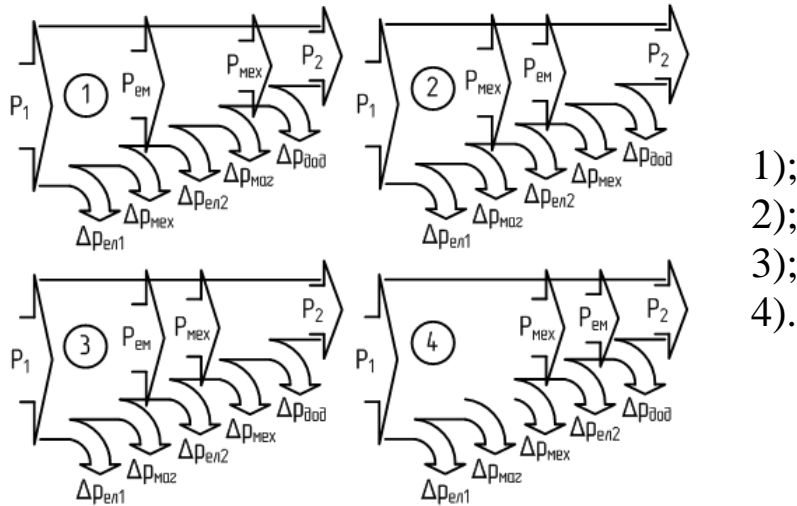
19 Спеціальні асинхронні двигуни з подвійною «білячою кліткою» (обмоткою ротора) відрізняються від асинхронних машин загальнопромислового виконання

- 1) збільшеним пусковим моментом;
- 2) збільшеною масою ротора;
- 3) покращеними енергетичними показниками;
- 4) збільшеним пусковим струмом.

20 Вкажіть діапазон номінальних потужностей асинхронних двигунів, які виготовляються з трьома виводами обмотки статора

- 1) 0,06-11 кВт;
- 2) 5,5-15 кВт;
- 3) 11-400 кВт;
- 4) 15-400 кВт.

21 Енергетична діаграма перетворення активної потужності в асинхронному двигуні має вигляд



22 Коефіцієнт завантаження $\kappa_{ЗAB}$, при якому спостерігається максимальне значення коефіцієнта корисної дії, визначається за рівнянням

- 1) $\kappa_{ЗAB(\eta=\eta_{\max})} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}}}{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}}}$;
- 2) $\kappa_{ЗAB(\eta=\eta_{\max})} = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}}{\Delta P_{\text{ПОСТ}}}}$;
- 3) $\kappa_{ЗAB(\eta=\eta_{\max})} = \frac{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}}{\Delta P_{\text{ПОСТ}}}$;
- 4) $\kappa_{ЗAB(\eta=\eta_{\max})} = \left(\frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}}}{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}} \right)^2$.

23 Навантажувальні втрати складаються з

- 1) електричних втрат в обмотках статора і ротора;
- 2) електричних втрат в обмотці ротора, механічних та додаткових втрат;
- 3) електричних втрат в обмотці статора, магнітних та додаткових втрат;
- 4) магнітних, механічних та додаткових втрат.

24 За відносним співвідношенням найбільшими втратами в асинхронному двигуні є

- 1) електричні втрати в обмотці статора;
- 2) магнітні втрати;
- 3) механічні втрати;
- 4) електричні втрати в обмотці ротора.

25 За наведеним рівнянням $\frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot R_2'}{\Omega_1 \cdot [(R_1 + c_1 \cdot R_2')^2 + (X_1 + c_1 \cdot X_2')^2]}$ ви- значається

- 1) пусковий момент асинхронного двигуна в параметричній формі;
- 2) момент асинхронного двигуна в параметричній формі;
- 3) номінальний момент асинхронного двигуна в параметричній формі;
- 4) максимальний момент в параметричній формі.

26 Постійні втрати в АД складаються з

- 1) магнітних, механічних та додаткових втрат;
- 2) електричних втрат в обмотці статора, магнітних та додаткових втрат;
- 3) механічних втрат та електричних в обмотках статора і ротора;

4) електричних втрат в обмотці ротора, механічних та додаткових втрат.

27 Коефіцієнт відношення втрат в асинхронному двигуні визначається за співвідношенням

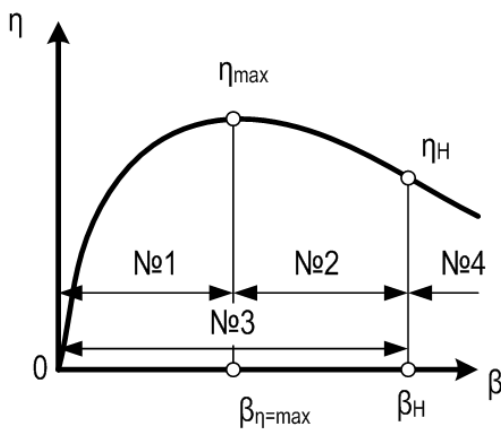
$$1) \alpha = \frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}}}{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}};$$

$$2) \alpha = \left(\frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}}}{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}} \right)^2;$$

$$3) \alpha = \frac{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}}{\Delta P_{\text{ПОСТ}}};$$

$$4) \alpha = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}}{\Delta P_{\text{ПОСТ}}}}.$$

28 Вкажіть номер (або номери) ділянки на наведеній характеристиці, на якій постійні втрати менше навантажувальних втрат



1) 2, 4;

2) 1, 2;

3) 1, 3;

4) 2, 3.

29 Як співвідносяться між собою електромагнітна потужність P_{em} і електричні втрати в обмотці ротора Δp_{e2} ?

$$1) P_{em} = \frac{\Delta p_{e2}}{S};$$

$$2) P_{em} = \Delta p_{e2} \cdot (1 - S);$$

$$3) P_{em} = \Delta p_{e2} \cdot S;$$

$$4) P_{em} = \Delta p_{e2} \frac{(1-S)}{S}.$$

30 За паспортними даними коефіцієнт корисної дії визначається за рівнянням

$$1) \eta = 1 - \frac{\Delta P_{ПОСТ} + \kappa_{ЗАВ}^2 \cdot \Delta P_{Н.НАВ}}{\kappa_{ЗАВ} \cdot P_H + \Delta P_{ПОСТ} + \kappa_{ЗАВ}^2 \cdot \Delta P_{Н.НАВ}};$$

$$2) \eta = 1 - \frac{\Delta P_{ПОСТ} - \kappa_{ЗАВ}^2 \cdot \Delta P_{Н.НАВ}}{\kappa_{ЗАВ} \cdot P_H + \Delta P_{ПОСТ} - \kappa_{ЗАВ}^2 \cdot \Delta P_{Н.НАВ}};$$

$$3) \eta = 1 - \frac{\Delta P_{ПОСТ} + \kappa_{ЗАВ}^2 \cdot \Delta P_{Н.НАВ}}{\kappa_{ЗАВ} \cdot P_H - \Delta P_{ПОСТ} - \kappa_{ЗАВ}^2 \cdot \Delta P_{Н.НАВ}};$$

$$4) \eta = 1 - \frac{\Delta P_{ПОСТ} - \kappa_{ЗАВ}^2 \cdot \Delta P_{Н.НАВ}}{\kappa_{ЗАВ} \cdot P_H - \Delta P_{ПОСТ} + \kappa_{ЗАВ}^2 \cdot \Delta P_{Н.НАВ}}.$$

31 Асинхронний двигун – це така обертова машина змінного струму, в якій

1) швидкість обертання ротора завжди менша швидкості обертання магнітного поля статора, при цьому швидкість обертання ротора змінюється при зміні навантаження;

2) швидкість обертання ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора, при цьому швидкість обертання ротора змінюється при зміні навантаження;

3) швидкість обертання ротора не дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора, при цьому швидкість обертання ротора не змінюється при зміні навантаження;

4) швидкість обертання ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора, при цьому швидкість обертання ротора не змінюється при зміні навантаження.

32 Ковзанням асинхронного електродвигуна називається

1) різниця між синхронною частотою обертання магнітного поля і частотою обертання ротора, виражена у відносних одиницях від синхронної частоти обертання магнітного поля;

- 2) різниця між синхронною частотою обертання магнітного поля і частотою обертання ротора, виражена у відносних одиницях від частоти обертання ротора;
- 3) різниця між частотою обертання ротора і синхронною частотою обертання магнітного поля статора, виражена у відносних одиницях від частоти обертання ротора;
- 4) різниця між частотою обертання ротора і частотою обертання магнітного поля, виражена у відносних одиницях від синхронної частоти обертання магнітного поля.

33 Напрямок обертання ротора асинхронного двигуна змінюється при

- 1) зміні напрямку обертання магнітного поля статора;
- 2) зміні величини напруги мережі;
- 3) зміні величини струму обмотки статора;
- 4) зміні частоти струму мережі.

34 При проведенні дослідів холостого ходу ротор асинхронного двигуна

- 1) обертається зі швидкістю, що менше швидкості обертання магнітного поля статора;
- 2) обертається зі швидкістю, що перебільшує швидкість обертання магнітного поля статора;
- 3) обертається зі швидкістю, що дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора;
- 4) не обертається, тому що він (ротор) загальмований.

35 Дослід короткого замикання проводиться з метою

- 1) отримання характеристик короткого замикання, визначення параметрів короткого замикання при номінальному струмі, визначення потужності втрат короткого замикання, визначення по-

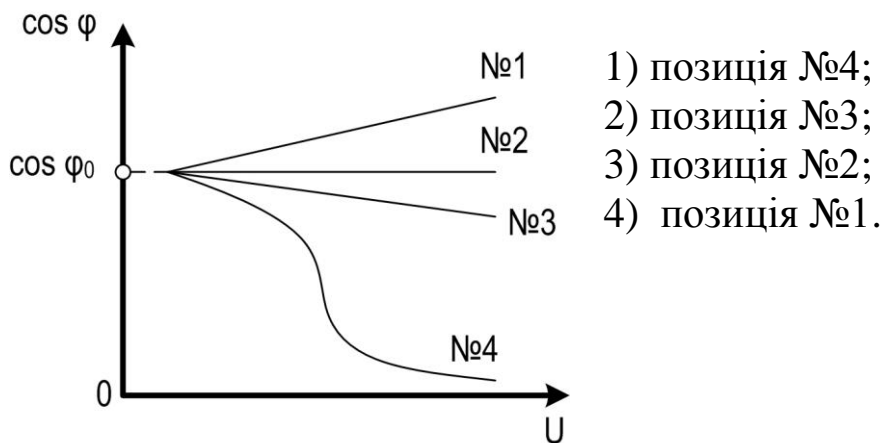
чаткового пускового струму і початкового пускового моменту асинхронного двигуна;

2) отримання характеристик короткого замикання та визначення параметрів короткого замикання при номінальній напрузі, визначення потужності втрат короткого замикання при номінальному струмі, визначення струму і моменту асинхронного двигуна при номінальній швидкості;

3) отримання характеристик короткого замикання, визначення параметрів короткого замикання, визначення потужності втрат короткого замикання при номінальному струмі, визначення початкового пускового струму і початкового пускового моменту асинхронного двигуна;

4) отримання характеристик короткого замикання, визначення параметрів короткого замикання, визначення потужності втрат короткого замикання при номінальній напрузі, визначення струму і моменту асинхронного двигуна при номінальній швидкості.

36 Вкажіть номер характеристики, за якою змінюється коефіцієнт потужності при проведенні дослідження холостого ходу



37 Дослід холостого ходу проводиться з метою

1) отримання характеристик холостого ходу, визначення параметрів холостого ходу, визначення струму холостого ходу і потуж-

ності втрат холостого ходу при номінальній напрузі, визначення коефіцієнту потужності і моменту холостого ходу асинхронного двигуна;

2) отримання характеристик холостого ходу, визначення параметрів холостого ходу, визначення струму холостого ходу і потужності втрат холостого ходу при номінальній напрузі, визначення коефіцієнту потужності і моменту холостого ходу асинхронного двигуна при номінальній швидкості;

3) отримання характеристик холостого ходу, визначення параметрів холостого ходу, визначення струму холостого ходу і потужності втрат холостого ходу при номінальному струмі, визначення коефіцієнту потужності і моменту холостого ходу асинхронного двигуна;

4) отримання характеристик холостого ходу, визначення параметрів холостого ходу, визначення струму холостого ходу і потужності втрат холостого ходу при номінальній швидкості, визначення коефіцієнту потужності і моменту холостого ходу асинхронного двигуна при номінальному струмі.

38 Вкажіть рівняння, за якими визначаються параметри короткого замикання асинхронного двигуна

$$1) Z_{\kappa} = \frac{U_{\kappa\phi}}{I_{1H}}, \quad R_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{3 \cdot I_{1H}^2}, \quad X_{\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa}^2 - R_{\kappa}^2};$$

$$2) Z_{\kappa} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{1H}}{I_{1H}}, \quad R_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot I_{1H}^2}, \quad X_{\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa}^2 - R_{\kappa}^2};$$

$$3) Z_{\kappa} = \frac{U_{\kappa\phi}}{\sqrt{3} \cdot I_{1H}}, \quad R_{\kappa} = \frac{P_{\kappa}}{I_{1H}^2}, \quad X_{\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa}^2 - R_{\kappa}^2};$$

$$4) Z_{\kappa} = \frac{U_{1H\phi}}{I_{1H}}, \quad R_{\kappa} = \frac{3 \cdot P_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot I_{1H}^2}, \quad X_{\kappa} = \sqrt{Z_{\kappa}^2 - R_{\kappa}^2}.$$

39 Вкажіть рівняння, за якими визначаються параметри холостого ходу асинхронного двигуна

- 1) $Z_0 = \frac{U_{1\text{нф}}}{I_0}$, $R_0 = \frac{P_0}{3 \cdot I_0^2}$, $X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$;
- 2) $Z_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{нф}}}{I_0}$, $R_0 = \frac{3 \cdot P_0}{\sqrt{3} \cdot I_0^2}$, $X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$;
- 3) $Z_0 = \frac{U_{1\text{нф}}}{I_{1н}}$, $R_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot I_{1н}^2}$, $X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$;
- 4) $Z_0 = \frac{3 \cdot U_{1\text{нф}}}{I_{1н}}$, $R_0 = \frac{3 \cdot P_0}{I_{1н}^2}$, $X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}$.

40 Обертвий момент асинхронної машини створюється:

- 1) при взаємодії магнітного потоку і активної складової струму ротора;
- 2) при взаємодії магнітного потоку і реактивної складової струму ротора;
- 3) при взаємодії магнітного потоку і повного струму ротора;
- 4) при взаємодії магнітного потоку і повного струму статора.

41 Втрати трифазного асинхронного двигуна, що відносять до змінних втрат

- 1) в обмотках статора і ротора;
- 2) в осерді статора і ротора;
- 3) механічні;
- 4) додаткові.

42 Значення висоти вісі обертання і кількості полюсів для двигуна типу 5AM132M8У3 складає

- 1) висота вісі обертання - 132 мм, кількість полюсів - 8 ;
- 2) висота вісі обертання - 132 мм, кількість полюсів - 4 ;
- 3) висота вісі обертання - 13 мм, кількість полюсів - 3 ;
- 4) висота вісі обертання - 32 мм, кількість полюсів - 3 .

43 Визначити клас нагрівостійкості ізоляції для асинхронного двигуна з к.з. ротором загальнопромислового виконання типу 5A160M2УЗ

- 1) клас нагрівостійкості - F ;
- 2) клас нагрівостійкості - В ;
- 3) клас нагрівостійкості - Н ;
- 4) клас нагрівостійкості - Y .

44 Частота обертання магнітного поля ротора асинхронного двигуна

- 1) дорівнює частоті обертання магнітного поля статора;
- 2) менше частоти обертання ротора;
- 3) дорівнює частоті обертання ротора;
- 4) перебільшує частоту обертання магнітного поля статора.

45 Номінальний струм асинхронного двигуна розраховується за рівнянням

1)
$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H};$$

2)
$$I_H = \frac{P_H}{U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H};$$

3)
$$I_H = \frac{P_H}{3 \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H};$$

4)
$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H}.$$

46 Синхронна частота обертання n_1 магнітного поля статора при частоті струму $f_1=50$ Гц і кількості полюсів $2p=6$ дорівнює

- 1) 1000 об/хв. ;
- 2) 750 об/хв. ;
- 3) 1500 об/хв. ;
- 4) 3000 об/хв. .

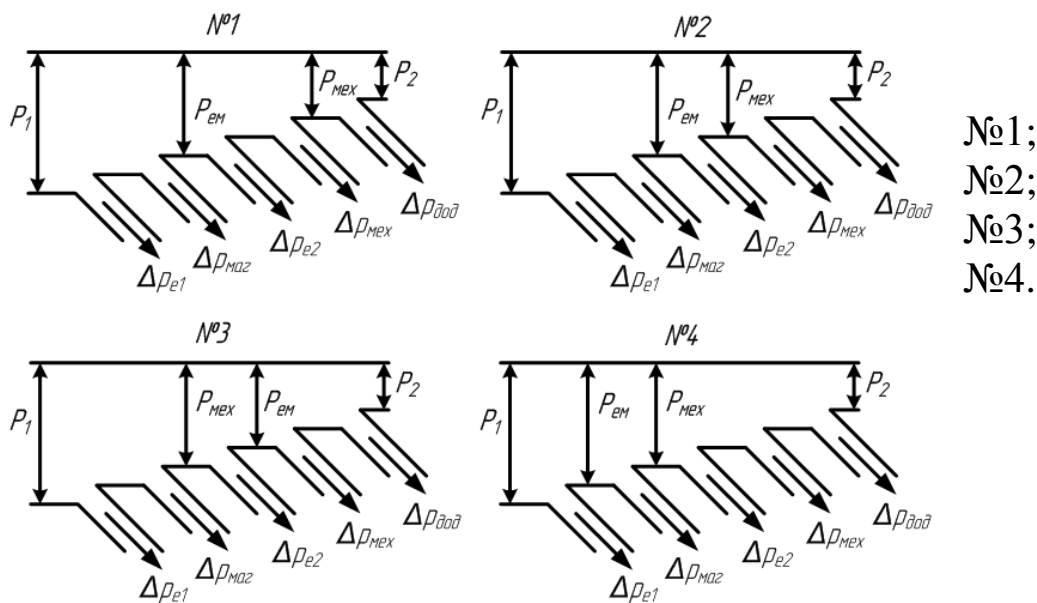
47 Частота струму в обмотці ротора f_2 асинхронного двигуна при частоті струму в обмотці статора $f_1=50$ Гц і ковзанні $S=0,04$ дорівнює

- 1) 2 Гц ;
- 2) 0,02 Гц ;
- 3) 0,2 Гц ;
- 4) 20 Гц .

48 Механічна потужність на валу асинхронного двигуна P_n при споживанні активної потужності з мережі $P_{1н}=1000$ Вт та коефіцієнті корисної дії $\eta_n=80\%$ дорівнює

- 1) 800 Вт ;
- 2) 1250 Вт ;
- 3) 450 Вт ;
- 4) 200 Вт .

49 Вкажіть номер енергетичної діаграми асинхронного двигуна з правильним розташуванням позначень електромагнітної та механічної потужності



50 Частота струму в обмотці ротора f_2 асинхронного двигуна при частоті струму в обмотці статора $f_1=50\text{Гц}$ і ковзанні $S=0,06$ дорівнює

- 1) 3 Гц ;
- 2) 0,3 Гц ;
- 3) 0,03 Гц ;
- 4) 30 Гц .

51 Номінальним режимом називається режим роботи асинхронного двигуна

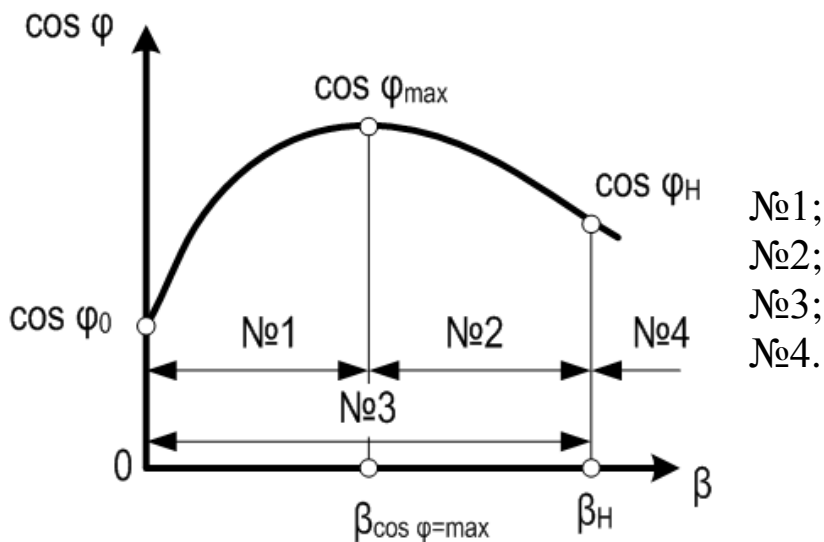
- 1) на який розрахований і побудований асинхронний двигун, при цьому забезпечуються високі енергетичні показники і заданий термін експлуатації;
- 2) на який розрахований і побудований асинхронний двигун, при цьому забезпечуються високі енергетичні показники, номінальні паспортні показники і заданий термін експлуатації;
- 3) при якому обмотка статора підключена до мережі з номінальною напругою, по обмотці протікає номінальний струм, на валу двигуна номінальний момент;
- 4) при якому обмотка статора підключена до мережі з номінальною напругою, по обмотці протікає номінальний струм, ротор обертається з номінальною швидкістю.

52 Ковзанням асинхронного електродвигуна називається

- 1) різниця між синхронною частотою обертання магнітного поля і частотою обертання ротора, виражена у відносних одиницях від синхронної частоти обертання магнітного поля;
- 2) різниця між частотою обертання ротора і синхронною частотою обертання магнітного поля статора, виражена у відносних одиницях від частоти обертання ротора;

- 3) різниця між частотою обертання ротора і частотою обертання магнітного поля, виражена у відносних одиницях від синхронної частоти обертання магнітного поля;
- 4) різниця між синхронною частотою обертання магнітного поля і частотою обертання ротора, виражена у відносних одиницях від частоти обертання ротора.

53 Вкажіть номер ділянки наведеної характеристики, що відповідає недовантаженню асинхронного двигуна



54 Момент під час критичного ковзання S_k називають

- 1) максимальний момент;
- 2) пусковий момент;
- 3) номінальний момент;
- 4) мінімальний момент.

55 Для трифазного асинхронного двигуна вираз P_{EM}/ω_1 означає

- 1) електромагнітний момент;
- 2) механічний момент;
- 3) корисний момент;
- 4) номінальний момент.

56 У разі зменшення напруги мережі змінного струму на 20%, момент асинхронного двигуна зменшиться

- 1) на 36% ;
- 2) на 18% ;
- 3) на 20% ;
- 4) на 64% .

57 Обертний момент асинхронної машини створюється при

- 1) взаємодії магнітного потоку і активної складової струму ротора;
- 2) при взаємодії магнітного потоку і повного струму ротора;
- 3) при взаємодії магнітного потоку і повного струму статора;
- 4) при взаємодії магнітного потоку і реактивної складової струму ротора.

58 В режимі навантаження, момент M асинхронного двигуна змінюється в діапазоні

- 1) від 0 до M_{\max} ;
- 2) від M_{Π} до M_{\max} ;
- 3) від M_{\min} до M_{\max} ;
- 4) від 0 до M_{\min} .

59 Як співвідносяться між собою електромагнітна потужність P_{em} і електричні втрати в обмотці ротора Δp_{e2} ?

- 1) $P_{em} = \frac{\Delta p_{e2}}{S}$;
- 2) $P_{em} = \Delta p_{e2} \cdot S$;
- 3) $P_{em} = \Delta p_{e2} \cdot (1 - S)$;
- 4) $P_{em} = \Delta p_{e2} \frac{(1 - S)}{S}$.

60 Момент, при якому частота струму в обмотці статора буде дорівнювати частоті струму в обмотці ротора називається

- 1) пусковий;
- 2) максимальний;
- 3) номінальний;
- 4) електромагнітний.

61 Рівняння рівноваги моментів має вигляд

- 1) $M_{дв} - M_{оп} = \pm J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$;
- 2) $M_{дв} + M_{оп} = \pm J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$;
- 3) $M_{дв} \pm M_{оп} = \mp J \cdot \frac{d\Omega_1}{dt}$;
- 4) $M_{дв} \pm M_{оп} = J \cdot \frac{d\Omega_1}{dt}$.

62 Момент асинхронного двигуна в параметричній формі визначається за рівнянням

- 1) $M = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot \frac{R'_2}{S}}{\Omega_1 \cdot \left[\left(R_1 + c_1 \cdot \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + c_1 \cdot X'_2)^2 \right]}$;
- 2) $M = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot R'_2}{\Omega_1 \cdot \left[(R_1 + c_1 \cdot R'_2)^2 + (X_1 + c_1 \cdot X'_2)^2 \right]}$;
- 3) $M = \frac{m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot \Omega_1 \cdot c_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + c_1 \cdot X'_2)^2} \right]}$;
- 4) $M = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot R'_2}{2 \cdot \Omega_1 \cdot c_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + c_1 \cdot X'_2)^2} \right]}$.

63 Значення коефіцієнта завантаження, при якому спостерігається максимальне значення коефіцієнта корисної дії, при відомому значенні коефіцієнта відношення втрат $\alpha = \frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}}}{\Delta P_{\text{Н.НАВ}}}$,

визначається за рівнянням:

1) $\kappa_{3AB(\eta=\eta_{\max})} = \sqrt{\alpha}$;

2) $\kappa_{3AB(\eta=\eta_{\max})} = \sqrt{1+\alpha}$;

3) $\kappa_{3AB(\eta=\eta_{\max})} = \sqrt{1-\alpha}$;

4) $\kappa_{3AB(\eta=\eta_{\max})} = \alpha^2$.

64 При зменшенні коефіцієнта корисної дії при зростанні навантаження асинхронного двигуна

- 1) навантажувальні втрати перебільшують постійні втрати;
- 2) постійні і навантажувальні втрати змінюються однаково;
- 3) постійні втрати дорівнюють навантажувальним втратам;
- 4) постійні втрати перебільшують навантажувальні втрати.

65 Повна механічна потужність P_{MEX} , виходячи з енергетичної діаграми перетворення активної потужності в асинхронному двигуні, може бути визначена за рівнянням:

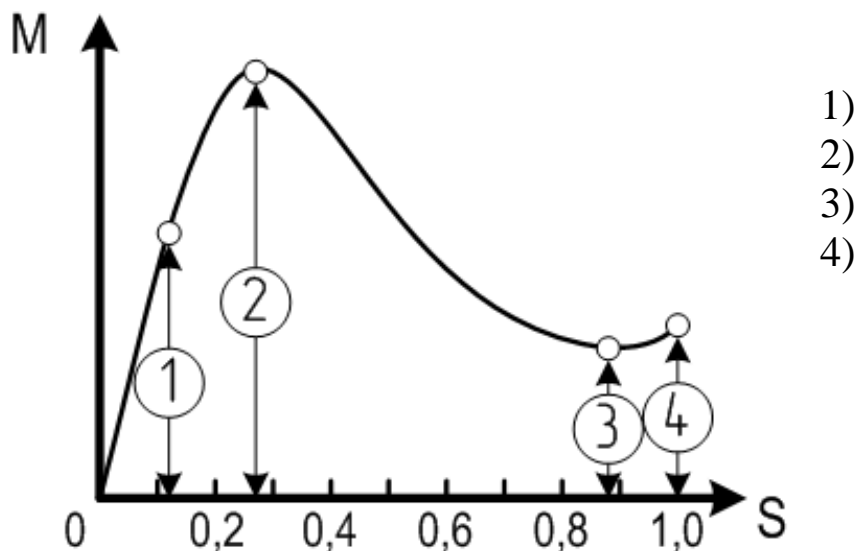
1) $P_{\text{MEX}} = P_{\text{EM}} \cdot (1 - S)$;

2) $P_{\text{MEX}} = \frac{P_{\text{EM}}}{(1 - S)}$;

3) $P_{\text{MEX}} = P_{\text{EM}} \cdot (1 + S)$;

4) $P_{\text{MEX}} = \frac{P_{\text{EM}}}{(1 + S)}$

66 Вкажіть позицію на моментній характеристиці, що відповідає критичному ковзанню



- 1)
- 2)
- 3)
- 4)

67 Наявність мінімального моменту асинхронного двигуна обумовлена

- 1) дією вихрових струмів і гармонійних складових струмів вищих порядків;
- 2) величиною повітряного проміжку і параметрами електротехнічної сталі, з якої виготовляється магнітопровід статора і ротора;
- 3) формою і кількістю пазів статора і ротора;
- 4) дією реактивної складової струму ротора.

68 Навантажувальні втрати в АД складаються з

- 1) електричних втрат в обмотках статора і ротора ;
- 2) електричних втрат в обмотці статора, магнітних та додаткових втрат ;
- 3) електричних втрат в обмотці ротора, механічних та додаткових втрат ;
- 4) магнітних, механічних та додаткових втрат .

69 Максимальне значення коефіцієнта корисної дії асинхронного двигуна спостерігається у випадку

- 1) коли постійні втрати дорівнюють навантажувальним ;
- 2) коли постійні втрати більше навантажувальних ;

- 3) коли постійні втрати менше навантажувальних ;
- 4) при номінальних навантажувальних втратах .

70 Частота струму в обмотці ротора f_2 асинхронного двигуна при частоті струму в обмотці статора $f_1=50$ Гц і ковзанні $S=0,08$ дорівнює

- 1) 4 Гц ;
- 2) 40 Гц ;
- 3) 0,4 Гц ;
- 4) 0,04 Гц .

71 Синхронна частота обертання магнітного поля асинхронного двигуна за паспортними даними визначається за рівнянням

- 1) $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$;
- 2) $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{2p}$;
- 3) $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot S_n$;
- 4) $n_1 = \frac{30 \cdot f_1}{p}$.

72 Кутова швидкість ротора при будь-якому ковзанні визначається за рівнянням

- 1) $\Omega_i = \Omega_1 \cdot (1 - S_i)$;
- 2) $\Omega_i = \Omega_1 \cdot S_i$;
- 3) $\Omega_i = \Omega_1 \cdot (S_i + 1)$;
- 4) $\Omega_i = \Omega_1 \cdot (S_i - 1)$.

73 Критичне ковзання за паспортними даними визначається за рівнянням

$$1) S_{кр} = S_n \cdot \frac{\left[\mu_{\max} + \sqrt{\mu_{\max}^2 + 2 \cdot S_n (\mu_{\max} - 1) - 1} \right]}{1 - 2 \cdot S_n (\mu_{\max} - 1)};$$

$$2) S_{кр} = S_H \cdot \frac{\mu_{\max} \cdot \sqrt{\mu_{\max}^2 - 2 \cdot S_H (\mu_{\max} + 1) + 1}}{1 + 2 \cdot S_H (\mu_{\max} + 1)};$$

$$3) S_{кр} = S_H \cdot \frac{\left[\mu_{\max} - \sqrt{\mu_{\max}^2 - 2 \cdot S_H (\mu_{\max} + 1) + 1} \right]}{1 + 2 \cdot S_H (\mu_{\max} + 1)}$$

$$4) S_{кр} = S_H \cdot \frac{\mu_{\max} \cdot \sqrt{\mu_{\max}^2 + 2 \cdot S_H (\mu_{\max} - 1) + 1}}{1 - 2 \cdot S_H (\mu_{\max} - 1)}.$$

74 Момент асинхронного двигуна при будь-якому ковзанні за рівнянням відносного моменту визначається

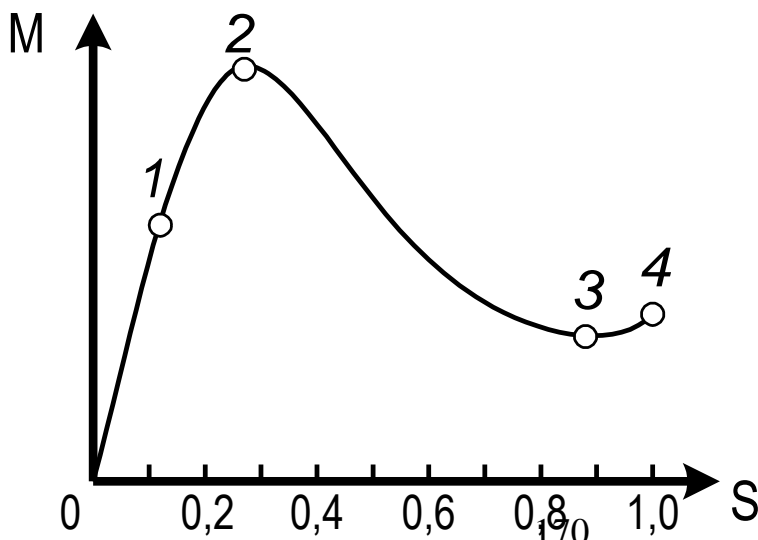
$$1) M_i = \frac{2 \cdot M_{\max} \cdot (1 + \alpha \cdot S_{кр})}{\frac{S_i}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S_i} + 2 \cdot \alpha \cdot S_{кр}};$$

$$2) M_i = \frac{M_{\max} \cdot (1 + 2 \cdot \alpha \cdot S_{кр})}{\frac{S_i}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S_i} + 2 \cdot \alpha \cdot S_{кр}};$$

$$3) M_i = \frac{M_{\max} \cdot (1 - 2 \cdot \alpha \cdot S_{кр})}{\frac{S_i}{S_{кр}} - \frac{S_{кр}}{S_i} - 2 \cdot \alpha \cdot S_{кр}};$$

$$4) M_i = \frac{2 \cdot M_{\max} \cdot (1 - \alpha \cdot S_{кр})}{\frac{S_i}{S_{кр}} - \frac{S_{кр}}{S_i} - 2 \cdot \alpha \cdot S_{кр}}.$$

75 Вкажіть ділянку на моментній характеристиці, що відповідає «робочій» ділянці (ділянці стабільної роботи)



- 1) «0-2»;
- 2) «1-3»;
- 3) «2-3»;
- 4) «2-4».

76 Вираз M_{Π}/M_H трифазного асинхронного двигуна означає

- 1) кратність пускового моменту;
- 2) кратність пускового струму;
- 3) перевантажувальна здатність;
- 4) кратність мінімального моменту.

77 Для асинхронного електродвигуна загальнопромислового виконання типу 5А80М6У2 номінальна частота обертання ротора буде

- 1) декілька менше 750 об/хв. ;
- 2) декілька менше 3000 об/хв. ;
- 3) декілька менше 1500 об/хв. ;
- 4) декілька менше 1000 об/хв. .

78 За паспортними даними коефіцієнт корисної дії визначається за рівнянням:

$$1) \eta = 1 - \frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}} + \kappa_{\text{ЗАВ}}^2 \cdot \Delta P_{\text{H.НАВ}}}{\kappa_{\text{ЗАВ}} \cdot P_H - \Delta P_{\text{ПОСТ}} - \kappa_{\text{ЗАВ}}^2 \cdot \Delta P_{\text{H.НАВ}}};$$

$$2) \eta = 1 - \frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}} + \kappa_{\text{ЗАВ}}^2 \cdot \Delta P_{\text{H.НАВ}}}{\kappa_{\text{ЗАВ}} \cdot P_H + \Delta P_{\text{ПОСТ}} + \kappa_{\text{ЗАВ}}^2 \cdot \Delta P_{\text{H.НАВ}}};$$

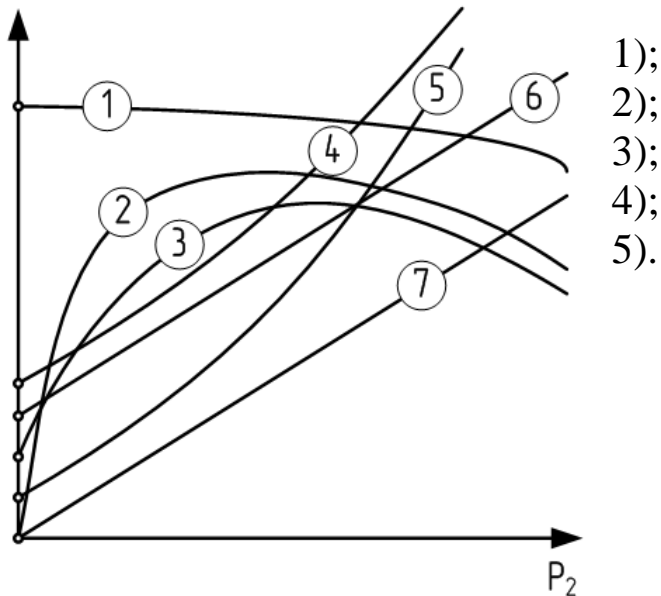
$$3) \eta = 1 - \frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}} - \kappa_{\text{ЗАВ}}^2 \cdot \Delta P_{\text{H.НАВ}}}{\kappa_{\text{ЗАВ}} \cdot P_H + \Delta P_{\text{ПОСТ}} - \kappa_{\text{ЗАВ}}^2 \cdot \Delta P_{\text{H.НАВ}}};$$

$$4) \eta = 1 - \frac{\Delta P_{\text{ПОСТ}} - \kappa_{\text{ЗАВ}}^2 \cdot \Delta P_{\text{H.НАВ}}}{\kappa_{\text{ЗАВ}} \cdot P_H - \Delta P_{\text{ПОСТ}} + \kappa_{\text{ЗАВ}}^2 \cdot \Delta P_{\text{H.НАВ}}}.$$

79 До робочих характеристик асинхронного двигуна відносяться наступні залежності

- 1) $I_1, P_1, \eta, \cos \varphi, \Omega, M_1, M_2 = f(P_2)$;
- 2) $I_2, P_1, \eta, \cos \varphi, \Omega, S, M_1, M_2 = f(P_2)$;
- 3) $I_1, P_1, \eta, \cos \varphi_2, \Omega_1, M_0, M_2 = f(I_2)$;
- 4) $I_1, P_1, P_2, \cos \varphi, \Omega, M_1, S = f(I_2)$.

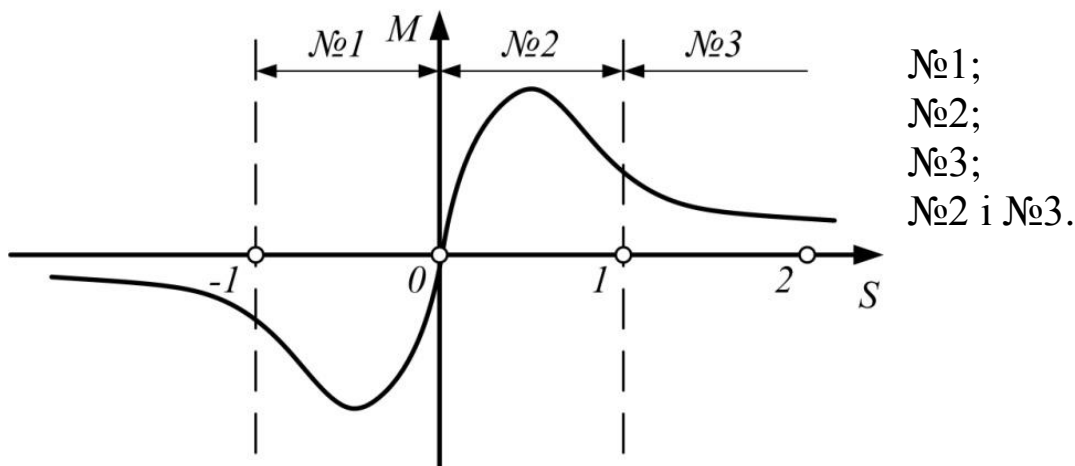
80 Вкажіть номер робочої характеристики, що відповідає залежності $\Omega = f(P_2)$



81 Для того, щоб асинхронна машина працювала в режимі генератора, необхідно підключити обмотку статора до мережі змінного струму і обернути ротор

- 1) за напрямом обертання магнітного поля статора зі швидкістю, що перебільшує швидкість обертання магнітного поля статора;
- 2) за напрямом обертання магнітного поля статора зі швидкістю, що дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора;
- 3) проти напрямку обертання магнітного поля статора зі швидкістю, що дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора;
- 3) проти напрямку обертання магнітного поля статора зі швидкістю, що перебільшує швидкість обертання магнітного поля статора.

82 Вкажіть номер ділянки механічної характеристики асинхронної машини, яка відповідає режиму генератора



83 В режимі генератора асинхронна машина

- 1) споживає з мережі реактивну потужність, генерує в мережу активну потужність;
- 2) споживає з мережі активну потужність, генерує в мережу реактивну потужність;
- 3) споживає з мережі активну і реактивну потужність;
- 4) генерує в мережу активну і реактивну потужність.

85 При зміні режиму роботи (з режиму двигуна на генераторний) в асинхронній машині відбуваються наступні зміни

- 1) зміна знаку ковзання на протилежний;
- 2) зміна напрямку обертання ротора;
- 3) збільшення значення струму в обмотці статора і ротора;
- 4) зменшення частоти обертання.

86 В режимі генератора асинхронної машини, ковзання S має значення

- 1) $S < 0$;
- 2) $S > 0$;
- 3) $S = 0$;
- 4) $S = 1$.

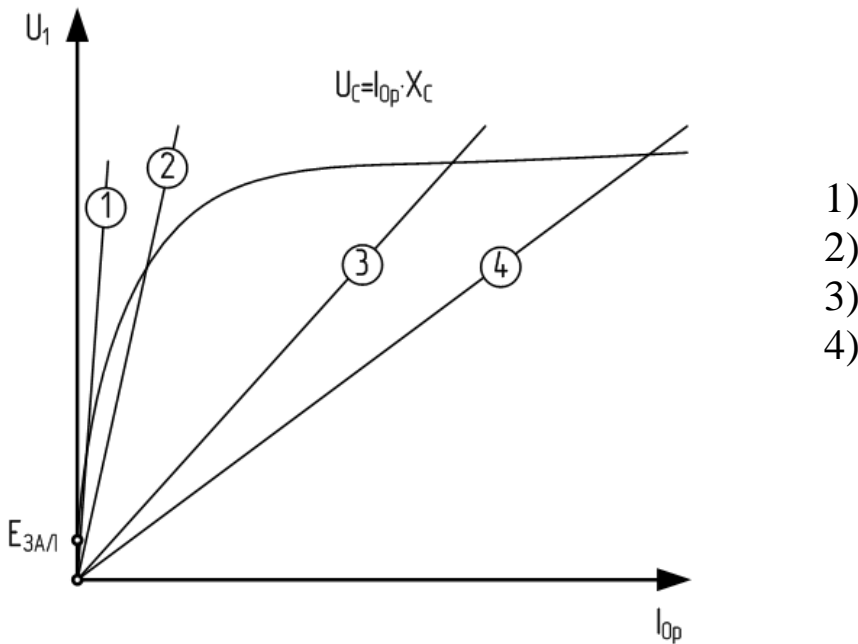
87 Завантаження асинхронного генератора при роботі на мережу регулюють

- 1) зміною моменту приводного двигуна;
- 2) зміною частоти обертання ротора;
- 3) зміною потужності приводного двигуна;
- 4) зміною напруги мережі.

88 Орієнтовна потужність конденсаторної батареї відносно потужності автономного асинхронного генератора складає

- 1) 70-100%;
- 2) 40-60%;
- 3) 10-30%;
- 4) 5-10%.

89 Вкажіть номер характеристики, яка відповідає найбільшій ємності конденсаторної батареї автономного асинхронного генератора



90 При збільшенні навантаження автономного асинхронного генератора для підтримання незмінної частоти струму $f_1 = const$ та напруги $U_1 = const$ необхідно

- 1) збільшувати частоту обертання ротора Ω_2 , збільшувати ємність конденсаторної батареї C ;
- 2) зменшувати частоту обертання ротора Ω_2 , зменшувати ємність конденсаторної батареї C ;
- 3) зменшувати частоту обертання ротора Ω_2 , збільшувати ємність конденсаторної батареї C ;
- 4) збільшувати частоту обертання ротора Ω_2 , зменшувати ємність конденсаторної батареї C .

91 Для збудження автономного асинхронного генератора необхідно забезпечити наступні умови

- 1) наявність магнітного потоку залишкового магнетизму асинхронної машини;
- 2) наявність конденсаторної батареї, підключеної до затискачів обмотки статора асинхронної машини;
- 3) обертати ротор приводним двигуном з частотою, що дорівнює частоті обертання магнітного поля статора асинхронної машини;
- 4) напрям обертання ротора повинен бути направлений протилежно напрямку обертання магнітного поля статора.

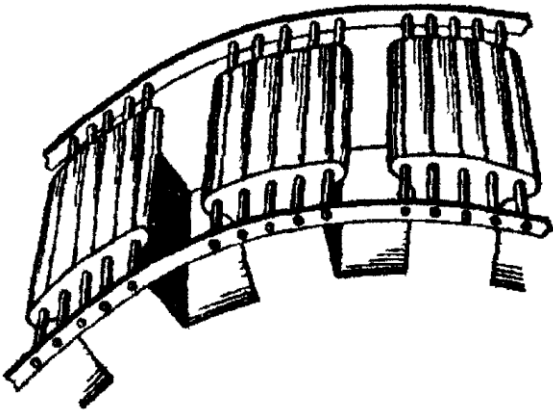
92 Синхронна машина – це така обертова машина змінного струму, в якій

- 1) швидкість обертання ротора дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора;
- 2) швидкість обертання ротора більше швидкості обертання магнітного поля статора;
- 3) швидкість обертання ротора менше швидкості обертання магнітного поля статора;
- 4) швидкість обертання ротора не дорівнює швидкості обертання магнітного поля статора.

93 Вкажіть діапазон номінальної частоти обертання та конструкцію ротора синхронного генератора, який за типом приводного пристрою відносять до турбогенераторів

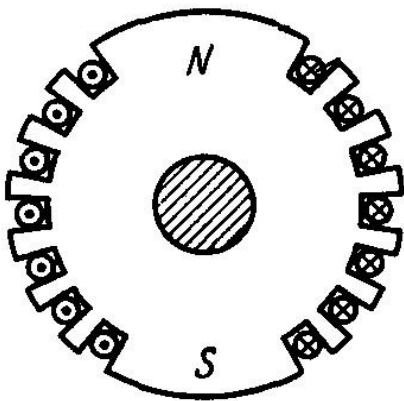
- 1) діапазон частоти обертання 1500-3000 об/хв., конструкція ротора - неявнополюсна;
- 2) діапазон частоти обертання 600-1500 об/хв., конструкція ротора - неявнополюсна;
- 3) діапазон частоти обертання 600-1500 об/хв., конструкція ротора - явнополюсна;
- 4) діапазон частоти обертання 50-600 об/хв., конструкція ротора – явнополюсна.

94 Обмотка синхронної машини, наведена на рисунку, має назву



- 1) пускова обмотка синхронного двигуна;
- 2) демпферна обмотка синхронного генератора;
- 3) обмотка самозбудження;
- 4) компенсаційна обмотка;
- 5) обмотка статора синхронного генератора.

95 Конструкція ротора синхронної машини, наведена на рисунку



- 1) ротор неявнополюсної конструкції з кількістю полюсів $2p=2$;
- 2) ротор неявнополюсної конструкції з кількістю полюсів $2p=4$;
- 3) ротор явнополюсної конструкції з кількістю полюсів $2p=2$;
- 4) ротор явнополюсної конструкції з кількістю полюсів $2p=4$.

96 Потужність, необхідна для збудження синхронної машини, порівняно з повною потужністю орієнтовно складає

- 1) 0,3-3%;
- 2) 15-20%;
- 3) 3-5%;
- 4) 6-10%.

97 Частина полюсної поділки неявнополюсного ротора, яка не має пазів, називається

- 1) «великий зубець» і складає $1/3$ полюсної поділки;
- 2) «малий зубець» і складає $1/3$ полюсної поділки;
- 3) «великий зубець» і складає $2/3$ полюсної поділки;
- 4) «малий зубець» і складає $2/3$ полюсної поділки.

98 Кількість полюсів явнополюсного ротора синхронного генератора $2p$ при номінальній частоті обертання $n_H = 3000$ об / хв та частоті струму мережі $f_1 = 50$ Гц складає

- 1) $2p=2$;
- 2) $2p=4$;
- 3) $2p=6$;
- 4) $2p=8$

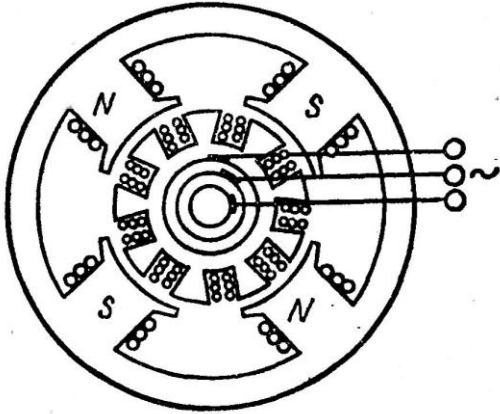
99 Синхронна машина з відсутнім вихідним (робочим) кінцем вала, що призначена для генерування реактивної потужності, називається

- 1) синхронний компенсатор;
- 2) синхронний двигун;
- 3) синхронний генератор;
- 4) синхронний перетворювач частоти.

100 З суцільної металевої поковки магнітом'якої сталі та максимальною кількістю полюсів $2p=4$ виконується

- 1) ротор турбогенератора;
- 2) ротор синхронного компенсатора;
- 3) ротор гідрогенератора;
- 4) ротор дизель-генератора.

101 Для якого діапазону потужності використовується наведена конструктивна схема синхронної машини



- 1) до 10-12 кВт;
- 2) від 15 до 50 кВт;
- 3) від 100 до 400 кВт;
- 4) від 630 кВт до 1 МВт.

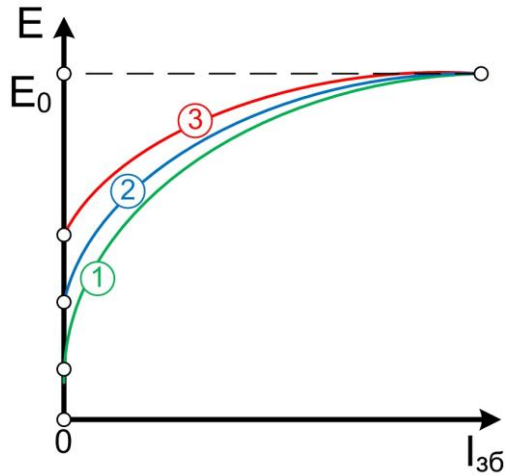
102 Який вид реакції якоря спостерігається при навантаженні в режимі недозбудження синхронного генератора?

- 1) продольно-розмагнічуюча реакція якоря;
- 2) поперечна реакція якоря;
- 3) продольно-намагнічуюча реакція якоря;
- 4) продольно-поперечна реакція якоря.

103 Вкажіть діапазон номінальної частоти обертання, конструкцію ротора та кількість полюсів синхронного генератора, який за типом приводного пристрою відносять до турбогенераторів

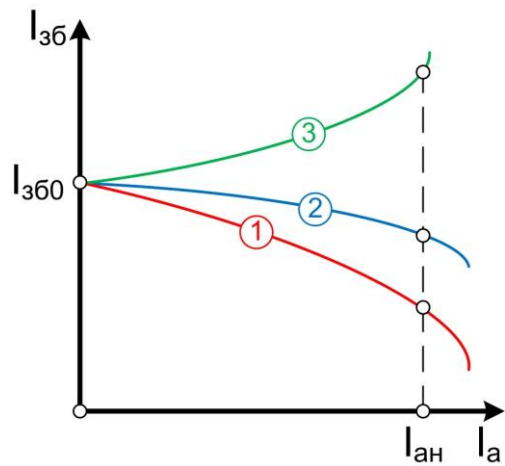
- 1) діапазон частоти обертання 1500- 3000 об/хв., конструкція ротора – неявнополюсна, кількість полюсів – 2 або 4;
- 2) діапазон частоти обертання 50-500 об/хв., конструкція ротора – явнополюсна, кількість полюсів – більше 12;
- 3) діапазон частоти обертання 500-1500 об/хв., конструкція ротора – явнополюсна, кількість полюсів – від 4 до 12;
- 4) діапазон частоти обертання 500-1500 об/хв., конструкція ротора – неявнополюсна, кількість полюсів – від 4 до 12.

104 Вкажіть номер висхідної гілки характеристики холостого ходу синхронного генератора



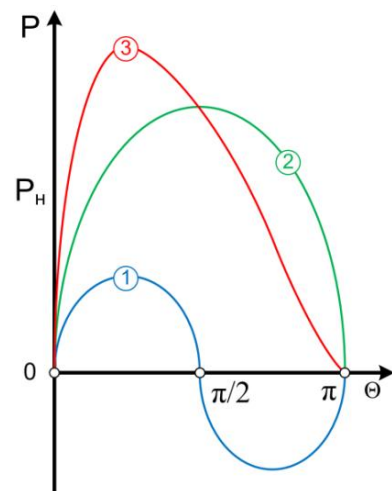
- 1;
- 2;
- 3;
- 2,3.

105 Вкажіть номер регулювальної характеристики, яка відповідає зміні струму збудження при активному навантаженні



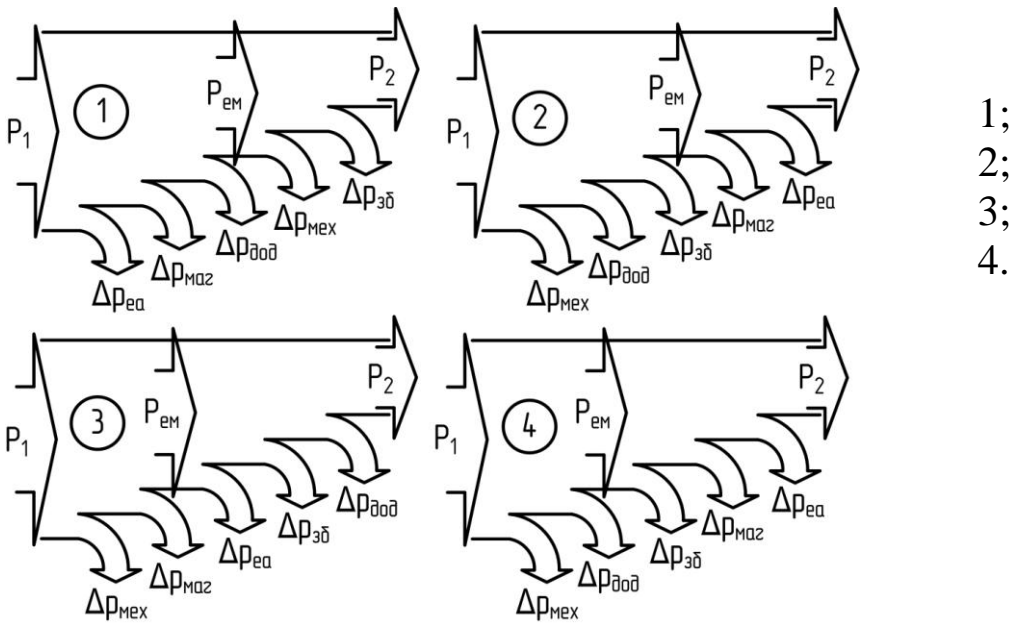
- 1;
- 2;
- 3;
- 1,3.

106 Вкажіть номер кутової характеристики, що відповідає основній складовій потужності явнополюсного синхронного генератора

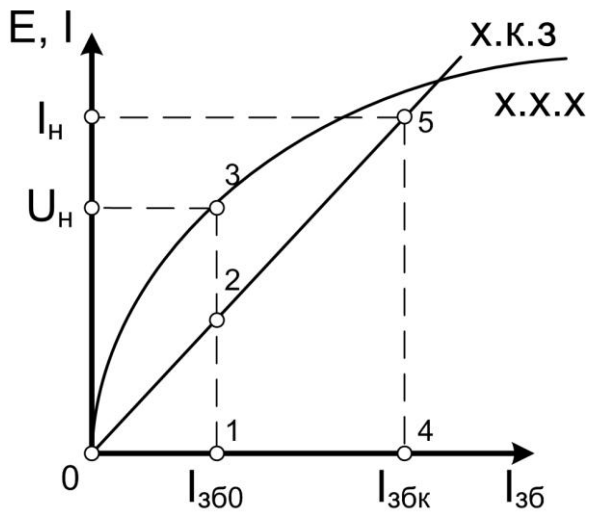


- 1;
- 2;
- 3;
- 1,3.

107 Енергетична діаграма перетворення активної потужності в синхронному генераторі має вигляд

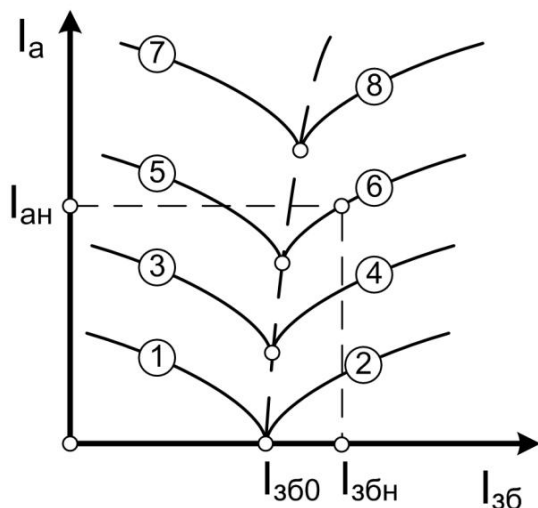


108 Відношення короткого замикання (ОКЗ) графічно за допомогою характеристик короткого замикання і холостого ходу визначається як відношення відрізків



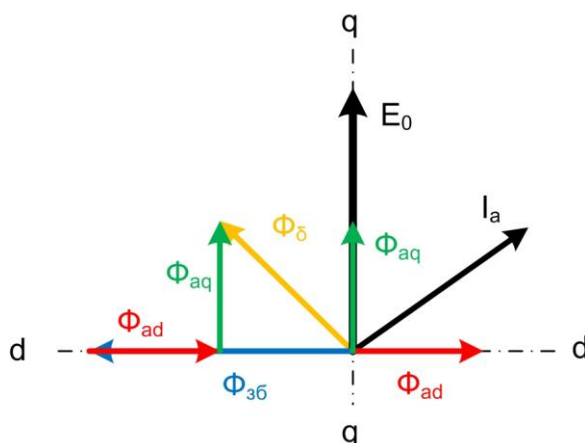
- 1) $OKЗ = \frac{L_{1-2}}{L_{4-5}}$;
- 2) $OKЗ = \frac{L_{0-1}}{L_{0-4}}$;
- 3) $OKЗ = \frac{L_{0-1}}{L_{1-4}}$;
- 4) $OKЗ = \frac{L_{2-3}}{L_{0-5}}$.

109 Вкажіть номер ділянки U-подібної характеристики, яка відповідає режиму холостого ходу синхронного генератора при недозбудженні



1;
2;
4;
8.

110 Вкажіть вид реакції якоря синхронного генератора за наведеною векторною діаграмою



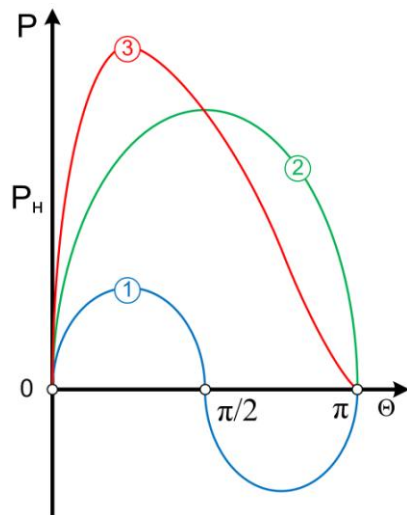
- 1) продольно-розмагнічуюча реакція якоря;
- 2) продольно-намагнічуюча реакція якоря;
- 3) поперечна реакція якоря;
- 4) продольно-поперечна реакція якоря.

111 Наведіть умови включення на паралельну роботу синхронних генераторів при точній синхронізації з мережею (декілька відповідей)

- 1) частота генератора повинна дорівнювати частоті мережі ($f_{Г}=f_{М}$) ЕРС генератора повинна співпадати по фазі і дорівнювати напрузі мережі;
- 2) порядок чергування фаз на затискачах генератора повинен співпадати з чергуванням фаз мережі;

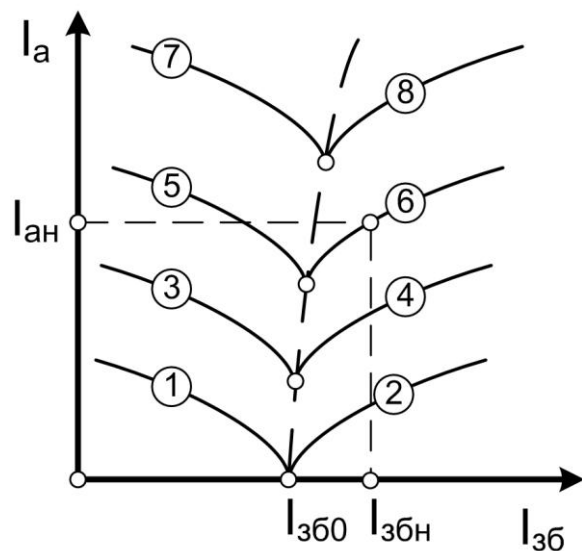
- 3) генератор повинен бути у незбудженому стані ($I_{зБ}=0$);
 4) обмотка індуктора повинна бути відключена від живлення і замкнена на опір, що перевищує опір індуктора в декілька разів.

112 Вкажіть номер кривої, що відповідає додатковій складовій кутової характеристики явнополюсного синхронного генератора



- 1;
 2;
 3;
 2,3.

113 Вкажіть номер ділянки U- подібної характеристики, яка відповідає режиму номінального навантаження синхронного генератора при незбудженні



- 1;
 4;
 5;
 8.

114 Паралельна робота синхронних генераторів з мережею в режимі U-подібної характеристики відбувається при умовах

- 1) $I_{зб} = const, P = var$;
- 2) $I_{зб} = var, P = const$;
- 3) $I_{зб} = var, P = var$;
- 4) $I_{зб} = const, P = const$.

115 У випадку, коли лампи синхроскопа по черзі загоряються, створюючи ефект «обертового вогню», необхідно

- 1) змінити чергування фаз, змінивши підключення двох фаз обмотки якоря генератора;
- 2) збільшити частоту обертання приводного двигуна;
- 3) збільшити струм збудження індуктора генератора;
- 4) змінити полярність живлення індуктора генератора.

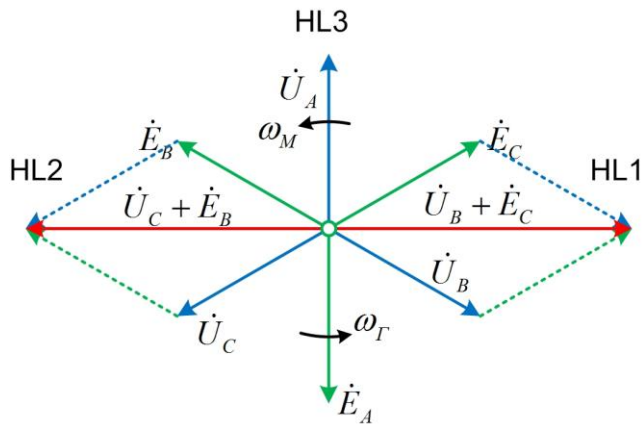
116 Робота синхронного генератора вважається стабільною, коли кут навантаження знаходиться в діапазоні

- 1) $0 < \Theta < \Theta_{max}$;
- 2) $\frac{\pi}{2} < \Theta < \pi$;
- 3) $\Theta_{max} < \Theta < \pi$;
- 4) $\Theta_{max} < \Theta < \frac{\pi}{2}$.

117 Величина додаткової складової кутової характеристики явнополюсного синхронного генератора визначається

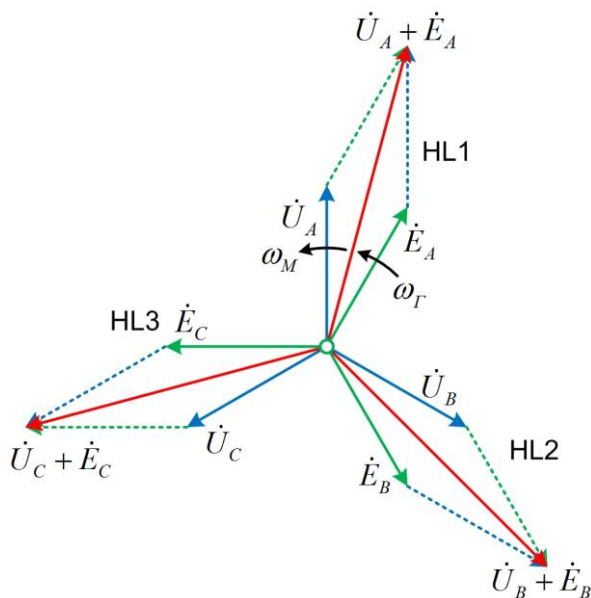
- 1) різницею провідностей по вісях d і q ;
- 2) реактивною потужністю генератора;
- 3) характером навантаження генератора;
- 4) видом реакції якоря.

118 Наведена векторна діаграма ЕРС генератора та напруги мережі при синхронізації генератора характерна для випадку, коли



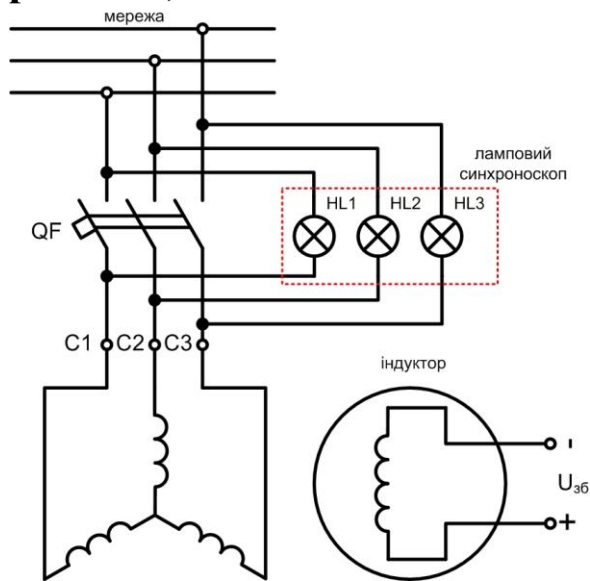
- 1) синхронізація завершена ;
- 2) амплітуда ЕРС генератора не дорівнює амплітуді напруги мережі;
- 3) не рівні частоти генератора та мережі ($f_G \neq f_M$);
- 4) чергування фаз ЕРС генератора відрізняється від чергування фаз напруги мережі.

119 Наведена векторна діаграма ЕРС генератора та напруги мережі при синхронізації генератора характерна для випадку, коли



- 1) не рівні частоти генератора та мережі ($f_G \neq f_M$);
- 2) амплітуда ЕРС генератора не дорівнює амплітуді напруги мережі;
- 3) чергування фаз ЕРС генератора відрізняється від чергування фаз напруги мережі;
- 4) синхронізація завершена.

120 Синхронізація генератора з мережею, при використанні наведеної схеми лампового синхроскопа, вважається завершеною, якщо

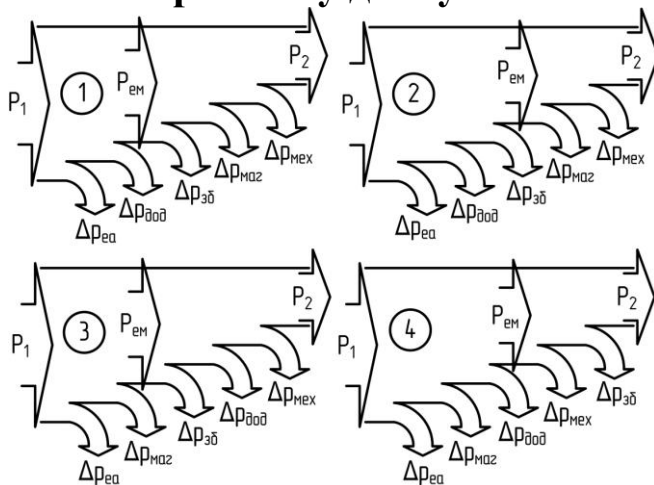


- 1) лампи HL1, HL2, HL3 згасли;
- 2) лампи HL1, HL2, HL3 одночасно розжарюються і згасають;
- 3) лампи HL1, HL2, HL3 по чергово розжарюються і згасають;
- 4) лампи HL1, HL2, HL3 постійно розжарені.

121 Найпоширеніший спосіб пуску трифазних синхронних двигунів

- 1) асинхронний;
- 2) синхронний;
- 3) при використанні допоміжного двигуна;
- 4) частотний.

122 Енергетична діаграма перетворення активної потужності в синхронному двигуні має вигляд



- 1;
- 2;
- 3;
- 4.

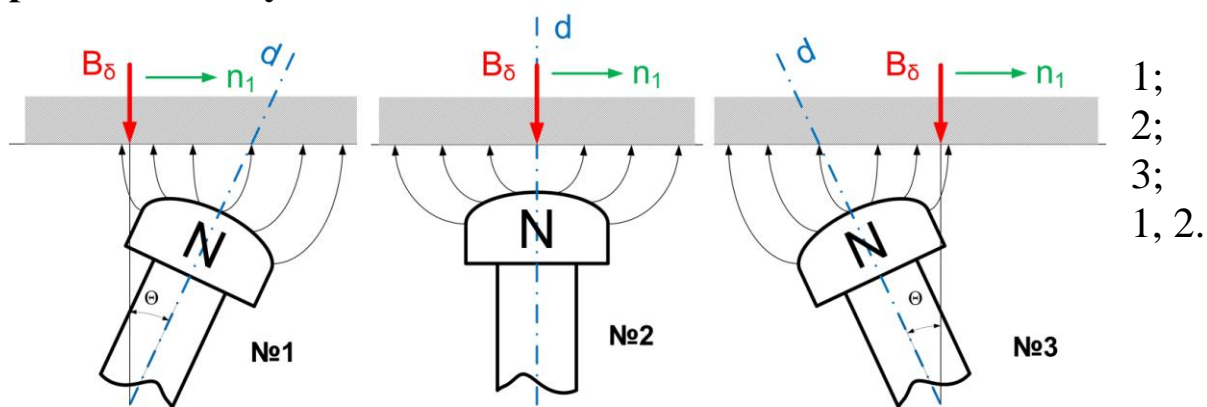
123 Реактивний момент синхронного двигуна розраховується за рівнянням

- 1) $\frac{m_1 \cdot U_M^2}{2 \cdot \Omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin(2\Theta);$
- 2) $\frac{m_1 \cdot U_M \cdot E_0}{\Omega_1 \cdot x_d} \cdot \sin(\Theta);$
- 3) $\frac{m_1 \cdot U_M \cdot E_0}{\Omega_1 \cdot x_d} \cdot \sin(\Theta) + \frac{m_1 \cdot U_M^2}{2 \cdot \Omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin(2\Theta);$
- 4) $\frac{m_1 \cdot U_M^2}{2 \cdot \Omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin(\Theta) + \frac{m_1 \cdot U_M \cdot E_0}{\Omega_1 \cdot x_d} \cdot \sin(2\Theta).$

124 При втраті збудження у синхронному двигуні ($I_{зб} = 0$), максимальний момент спостерігається при куті навантаження Θ_{max} , що дорівнює

- 1) $\Theta_{max} = 45^\circ;$
- 2) $\Theta_{max} = 90^\circ;$
- 3) $\Theta_{max} = 60 \div 70^\circ;$
- 4) $\Theta_{max} = 20 \div 30^\circ.$

125 Виберіть номер рисунка, на якому за знаком і величиною кута навантаження Θ зображено режим навантаження синхронного двигуна

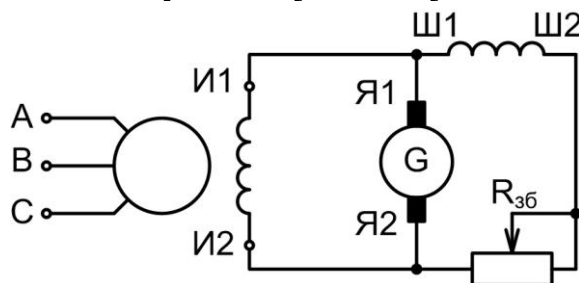


- 1;
- 2;
- 3;
- 1, 2.

126 Кількість полюсів явнополюсного ротора синхронного двигуна $2p$ при номінальній частоті обертання $n_H = 3000 \text{ об/хв}$ та частоті струму мережі $f_1 = 50 \text{ Гц}$ складає

- 1) $2p=2$;
- 2) $2p=4$;
- 3) $2p=6$;
- 4) $2p=8$.

127 Наведена схема збудження при пуску синхронного двигуна використовується у випадку



- 1) якщо момент навантаження на валу синхронного двигуна під час пуску $M < (0,5-0,6)M_H$;
- 2) якщо момент навантаження на валу синхронного двигуна під час пуску $M = 0,5M_H$;
- 3) якщо момент навантаження на валу синхронного двигуна під час пуску $M > (0,5-0,6)M_H$;
- 4) якщо момент навантаження на валу синхронного двигуна під час пуску $M = 0,5M_H$.

128 Відношенням короткого замикання (ОКЗ) синхронної машини називається...

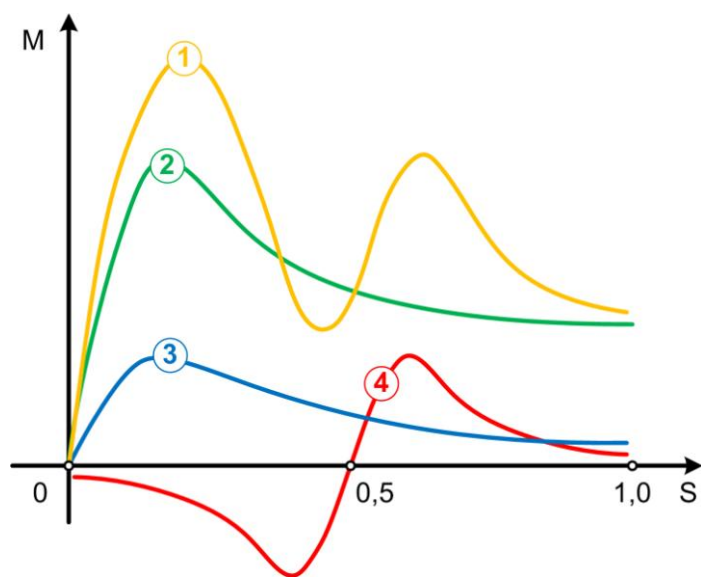
- 1) відношення струму короткого замикання $I_{к0}$ при струмі збудження $I_{зб.0}$, при якому забезпечується номінальна напруга $U=U_H$ на затискачах генератора на холостому ході, до номінального струму I_H ;

- 2) відношення струму короткого замикання $I_{к0}$ при струмі збудження $I_{зб.н}$, при якому забезпечується напруга $U=E_0$ на затискачах генератора на холостому ході, до номінального струму I_n ;
- 3) відношення струму короткого замикання $I_{к0}$ при струмі збудження $I_{зб.0}$, при якому забезпечується номінальна напруга $U=U_n$ на затискачах генератора, до номінального струму збудження $I_{зб.н}$;
- 4) відношення струму короткого замикання $I_{к0}$ при струмі збудження $I_{зб.0}$, при якому забезпечується номінальна напруга $U=U_n$ на затискачах генератора на холостому ході, до номінального струму збудження $I_{зб.н}$.

129 При асинхронному пуску синхронного двигуна не допускається (декілька відповідей)

- 1) пуск із шунтуванням обмотки статора;
- 2) пуск при розімкненій обмотці збудження;
- 3) пуск при замкненій накоротко обмотці збудження;
- 4) пуск із зниженою частотою напруги живлення;
- 5) пуск із зниженням напруги мережі;
- 6) пуск із збудженим ротором.

130 Вкажіть номер характеристики при одноосному ефекті, що відповідає моменту створюваному пусковою обмоткою синхронного двигуна



- 1)
- 2)
- 3)
- 4)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Вольдек А. И. Электрические машины/А. И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
- 2 Брускин Д. Э. Электрические машины, Ч. 1/ Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов – М.: Высшая школа, 1979. – 288 с.
- 3 Брускин Д. Э. Электрические машины, Ч. 2/ Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов – М.: Высшая школа, 1979. – 360 с.
- 4 Александров Н. Н. Электрические машины и микромашины/ Н. Н. Александров– М.: Колос, 1983. – 384 с.
- 5 Справочник по электрическим машинам/ Под ред. И. П. Копылова. т. 1. – М.: Энергоиздат, 1988. – 456 с.
- 6 Брускин Д. Э. Электрические машины и микромашины/ Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов – М.: 1990. – 528 с.
- 6 Копылов И. П. Электрические машины/ И. П. Копылов– М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
- 8 Андрианов В. Н. Электрические машины и аппараты/ В. Н. Андрианов– М.: Колос, 1971. – 448 с.
- 9 Куценко Ю. М. Електричні машини і апарати: навчальний посібник/ Ю. М. Куценко, В. Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2012. – 449 с.
- 10 Назарьян Г. Н. Электрические машины: Учебное пособие для вузов / Г. Н. Назарьян. – Мелитополь, Люкс, 2011. – 827 с.
- 11 Кацман М. М. Справочник по электрическим машинам: Учеб. пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования/ М. М. Кацман. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.