

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Електротехніка і електромеханіка
імені професора В.В. Овчарова»

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ РЕГУЛЮВАННЯ
ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА
ЗМІНОЮ ЧИСЛА ПАР ПОЛЮСІВ**

для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»

зі спеціальності 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»



Мелітополь, 2020

УДК 621.3(075)

Основи електропривода: Методичні вказівки до лабораторної роботи «Дослідження способу регулювання швидкості асинхронного електродвигуна зміною числа пар полюсів» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка» / С.О. Квітка, М.В. Постнікова, О.М. Речина. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 23 с.

Розробники: к.т.н., доцент Квітка С.О.,
к.т.н., доцент Постнікова М.В.,
асистент Речина О.М.

Рецензент: д.т.н., професор Діордієв Володимир Трифонович Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова
Протокол №6 від 9 січня 2020 р.

Затверджено методичною комісією факультету енергетики і комп'ютерних технологій ТДАТУ
Протокол №5 від 29 січня 2020 р.

© Квітка С.О.
Постнікова М.В.
Речина О.М.

ЗМІСТ

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ СТУДЕНТА В ЛАБОРАТОРІЇ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	4
КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	7
ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗМІНОЮ ЧИСЛА ПАР ПОЛЮСІВ.....	8
1 Мета роботи	8
2 Основні теоретичні відомості	8
3 Завдання самостійної роботи студента	12
4 Програма роботи.....	12
5 Технічна характеристика лабораторного устаткування	13
6 Вказівки щодо виконання роботи.	14
7 Вказівки щодо оформлення звіту.	21
8 Контрольні питання	21
9 Список літератури.	22
ДОДАТОК А Зразок оформлення титульного листа звіту з лабораторної роботи	23

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ СТУДЕНТА В ЛАБОРАТОРІЇ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

На лабораторних заняттях студент повинен закріпити одержані теоретичні знання і набути практичних навичок з дослідження і налагодження електроприводів.

Лабораторні роботи з електропривода відрізняються від лабораторних робіт з електротехніки і електричних машин складністю схем, великою кількістю різного електрообладнання (електричні машини, вимірювальні прилади, апаратура керування) і відмінностями в режимах їх роботи.

Якщо раніше студент вивчав окремі види обладнання, то тепер - роботу комплекту обладнання, призначеного для виконання певної виробничої функції. Тому при виконанні лабораторних робіт з електропривода студент повинен самостійно вирішувати практичні інженерні задачі, уміти складати схеми електроприводів, регулювати і налагоджувати як машини і апарати зокрема, так і весь електропривод у цілому.

Роботи з електропривода виконують бригадами по 2-4 чоловіки. Кожна бригада повинна виконувати всі лабораторні роботи передбачені календарно-тематичним планом кафедри. Одержавши графік виконання робіт, студент завчасно готується до кожної з них, вивчаючи відповідні розділи підручника, складаючи повні робочі схеми дослідження, таблиці, виконуючи необхідні розрахунки.

До виконання робіт допускаються студенти, які мають оформлений звіт з попередньої роботи, які знають зміст та методику виконання наступної роботи.

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен ознайомитися з обладнанням робочого місця, паспортними даними усіх машин і апаратів, що застосовуються в роботі, одержати інші характеристики цього обладнання. Лише після ознайомлення із обладнанням робочого місця і перевірки викладачем ступеня підготовки студента до заняття він може виконувати роботу.

Для роботи студент самостійно вибирає вимірювальні прилади, реостати, апарати керування і складає схему. При цьому необхідно керуватися правилом, що силові кола й кола керування збирають окремо; з'єднують спочатку послідовні, а потім паралельні кола. Також необхідно дотримуватись правила: не закріплювати під одним затискачем більше двох кінців проводів. Їх потрібно розподілити рівномірно між іншими затискачами. Приєднання електровимірювальних приладів до електричних машин здійснюється через клемну колодку, яка закріплена в нижній частині збірної сторони лабораторних стендів.

Перед вмиканням під напругу необхідно переконатись, що движки реостатів знаходяться у вихідному положенні: опір пускових реостатів повинен бути повністю введений в коло якоря або ротора (для АД з фазним ротором), а опір шунтового реостату в колі збудження двигунів постійного струму - повністю виведено.

Напругу на затискачі електродвигуна потрібно подавати послідовним

вмиканням апаратури управління зі сторони живлення, а знімати - у зворотному порядку.

Після перевірки схеми викладачем або лаборантом її вмикають, звертають увагу на напрямок обертання машин і правильність вмикання приладів. Після перевірки схеми при різних режимах роботи починають виконувати досліди.

Під час дослідів стежать за показами приладів і режимами роботи всього обладнання. Показання приладів знімають в одному заздалегідь установленому порядку, записуючи в першу чергу ті параметри, які при роботі змінюються найшвидше. При проведенні дослідів всі дані випробувань, технічні дані обладнання акуратно записують у таблиці фіксації експериментальних даних, рекомендовані до кожної лабораторної роботи.

Після проведення дослідів і виконання необхідних розрахунків складають звіт по роботі, який вміщує всі фактичні дані (схеми, таблиці, графіки) та аналіз результатів.

При виконанні лабораторних робіт необхідно суворо дотримуватись правил з техніки безпеки. В лабораторії теорії електропривода доводиться мати справу з відкритими схемами і при невиконанні елементарних правил електробезпеки можна потрапити під електричну напругу.

Перед початком роботи в лабораторії теорії електропривода студент повинен ознайомитись із схемою живлення лабораторії і робочих місць, з'ясувати, де розташовані апарати для вмикання і вимикання живлення всієї лабораторії з усіх систем живлення (змінний і постійний струм різних напруг). Крім того, потрібно ознайомитися з правилами техніки безпеки та надання першої допомоги потерпілому від електричного струму; прийняти їх до обов'язкового виконання та розписатися про це в спеціальному журналі. Студенти, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

При складанні схеми необхідно слідкувати за тим, щоб контактні з'єднання були щільними, провідники не перетинали проходів і не потрапляли на рухомі частини машин і апаратів. Після складання схеми потрібно прибрати всі зайві провідники, апарати, прилади тощо.

Перед вмиканням схеми під напругу необхідно попередити товаришів по роботі і перевірити, чи не доторкається хтось до струмоведучих частин та до частин, що обертаються. Під час проведення дослідів потрібно бути уважним та обережним, не відволікатися сторонніми справами і розмовами. Ніяких перемикань під напругою робити не можна. На цей період треба вимкнути схему.

При появі будь-яких ознак ненормальної роботи обладнання (сторонні шуми в машинах, дим, запах горілого тощо) та обриві проводів потрібно негайно вимкнути схему і доповісти про те, що сталося, викладачеві чи лаборантові. Без їх дозволу знову схему не вмикати. Результати дослідів потрібно показати керівникові і тільки з його дозволу розбирати схему. Після закінчення роботи привести в порядок робоче місце. Студент повинен дбати про збереження обладнання лабораторії.

Основні правила охорони праці при виконанні лабораторних робіт

Для безпечної роботи в лабораторії теорії електропривода кожен студент повинен знати і суворо дотримуватися наступних основних правил безпеки:

1. Збирати схему і тим більш підключати її до мережі дозволяється тільки після ознайомлення з усім обладнанням, апаратурою та вимірювальними приладами, їх принципом дії, призначенням в схемі і номінальними даними.

2. Електричну схему можна збирати тільки при виключеному вимикачі з боку живлення.

3. Зібрану електричну схему перед вмиканням обов'язково повинен перевірити викладач або лаборант.

4. Перед включенням електричної схеми під напругу треба обов'язково перевірити, чи знаходяться рукоятки перемикачів та повзунки реостатів у вихідному положенні.

5. При кожному включенні схеми необхідно попередити про це своїх товаришів.

6. Підключати електричну схему апаратами керування до мережі необхідно послідовно, починаючи з боку живлення: автоматом, перемикачем або кнопкою "Пуск". Відключати схему необхідно в зворотній послідовності: натиснути кнопку "Стоп", а потім вимкнути автоматичний вимикач.

7. Вносити зміни в схему (робити перемикання) дозволяється тільки при вимкненому автоматі.

8. Під час виконання роботи не доторкатися до оголених кінців проводів, металевих затискачів, затискачів вимірювальних приладів, апаратів, електродвигунів або іншого обладнання, яке знаходиться під напругою.

9. Не знімати захисних огорож з апаратів, приладів, обладнання.

10. Слідкувати за щільністю розбірних контактних з'єднань.

11. Замір опору ізоляції електродвигуна мегомметром необхідно виконувати при повному його вимкненні від електричної мережі.

12. Суворо дотримуватись вказівок викладача щодо особливостей виконання кожної роботи.

13. При виявленні несправностей в схемі, необхідно терміново зупинити роботу і повідомити про це викладача.

14. Категорично забороняється доторкатися рукою, ногою до частин обладнання, що обертаються.

15. При нещасному випадку необхідно миттєво вимкнути установку від мережі, негайно надати першу допомогу потерпілому. Аптечка швидкої допомоги знаходиться в аудиторії 1.123. За необхідності визвати карету швидкої допомоги за телефоном 103.

16. У випадку пожежі негайно вимкнути автоматичні вимикачі постійного та змінного струмів на розподільчих щитках кожного робочого місця та натиснути кнопки "Стоп" на головному розподільчому щиті лабораторії електропривода, вжити заходів щодо ліквідації пожежі. Вуглекислотний вогнегасник знаходиться в лабораторії. При необхідності визвати пожежну команду за телефоном 101.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Кількісна оцінка за виконання кожної лабораторної роботи визначається за наступними показниками:

1. вхідний контроль у лабораторну роботу, за який максимально можна отримати 20 % від загальної кількості балів за лабораторну роботу;

2. підготовка та оформлення звіту з лабораторної роботи, за який максимально можна отримати 30 % від загальної кількості балів;

3. вихідний контроль з лабораторної роботи (захист лабораторної роботи), за який максимально можна отримати 50 % від загальної кількості балів.

Вхідний контроль у лабораторну роботу здійснюється шляхом усного опитування студента на початку заняття. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно наданим відповідям.

Підготовка та оформлення звіту з лабораторної роботи здійснюється студентом безпосередньо на лабораторному занятті. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно виконаним пунктам звіту. Приклад оформлення титульного листа звіту наведено у додатку А.

Вихідний контроль з лабораторної роботи здійснюється шляхом тестування наприкінці заняття. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно наданим відповідям.

Лабораторна робота вважається виконаною успішно, якщо студент у підсумку отримав не менше, ніж 60 % балів. У протилежному випадку студент зобов'язаний підвищити бал за лабораторну роботу у відведений термін на консультації викладача, який її проводив. Підвищення рейтингу полягає у виконанні певних завдань щодо лабораторної роботи: вхідний контроль, підготовка та оформлення звіту, вихідний контроль. Підвищити рейтинг з лабораторної роботи можна не більше, ніж до 60 % балів.

У разі пропуску лабораторного заняття студент повинен його відпрацювати у відведений термін на консультації викладача, який його проводив. Якщо лабораторне заняття пропущене з поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимальну кількість балів. Якщо лабораторне заняття пропущене без поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимально 60 % балів.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗМІНОЮ ЧИСЛА ПАР ПОЛЮСІВ

1 Мета роботи: одержати експериментально механічні характеристики двошвидкісного асинхронного електродвигуна; показати, що при навантаженні обмоток двигуна однаковим струмом, потужності на валу за схемою “подвійна зірка” і в схемі “трикутник” однакові

2 Основні теоретичні відомості

Одним із способів регулювання кутової швидкості асинхронних електродвигунів (АД) є регулювання зміною числа пар полюсів у відповідності із виразом

$$n = \frac{60f(1-s)}{p}, \quad (1)$$

де f - частота струму мережі живлення, Гц;

s - ковзання електродвигуна, в.о.;

p - число пар полюсів.

Даний спосіб використовують для машин, що не потребують плавного регулювання кутової швидкості. Це, наприклад, припливні відцентрові вентилятори для тваринницьких та птахівничих приміщень, деякі металообробні верстати, відцентрові сепаратори, грузові ліфти та лебідки тощо. В цих випадках використовують полюсоперемикаючі (багатошвидкісні) двигуни. Промисловість випускає двигуни на дві, три і чотири частоти обертання із співвідношенням полюсів 4:2; 4:6; 8:4; 8:6; 12:6; 6:4:2; 8:4:2; 8:6:4; 12:8:6:4.

Двошвидкісні двигуни, що мають співвідношення числа пар полюсів 2:1 (полюси 4:2; 8:4; 12:6) мають одну полюсно-перемикаючу обмотку.

У тришвидкісних двигунах дві незалежні обмотки: одна полюсно-перемикаюча з числом полюсів 4:2 для двигунів з $2p=6:4:2$, $8:4:2$ і $8:4$ для двигунів з $2p=8:6:4$ та одна звичайна обмотка з числом полюсів $2p=6$ для двигунів з $2p=6:4:2$, $8:6:4$ і $2p=8$ для двигунів з $2p=8:4:2$. Чотиришвидкісні двигуни з $2p=12:6:4$ мають дві незалежні полюсно-перемикаючі обмотки з $2p=8:4$ і $12:6$.

Для зміни числа пар полюсів у співвідношенні 2:1 виконують перемикання секцій статорної обмотки. Схеми вмикання секцій однієї фази обмотки статора, що забезпечують зміну числа пар полюсів вдвічі представлено на рисунку 1.

Струм в секціях обмотки статора при номінальній напрузі не залежить від схеми з'єднання і залишається практично незмінним, незважаючи на те, що опір фази при послідовному і паралельному з'єднаннях секцій змінюється в два рази. Незмінність струму в секціях пояснюється зміною електрорушійної сили обмотки статора при зміні кутової швидкості двигуна.

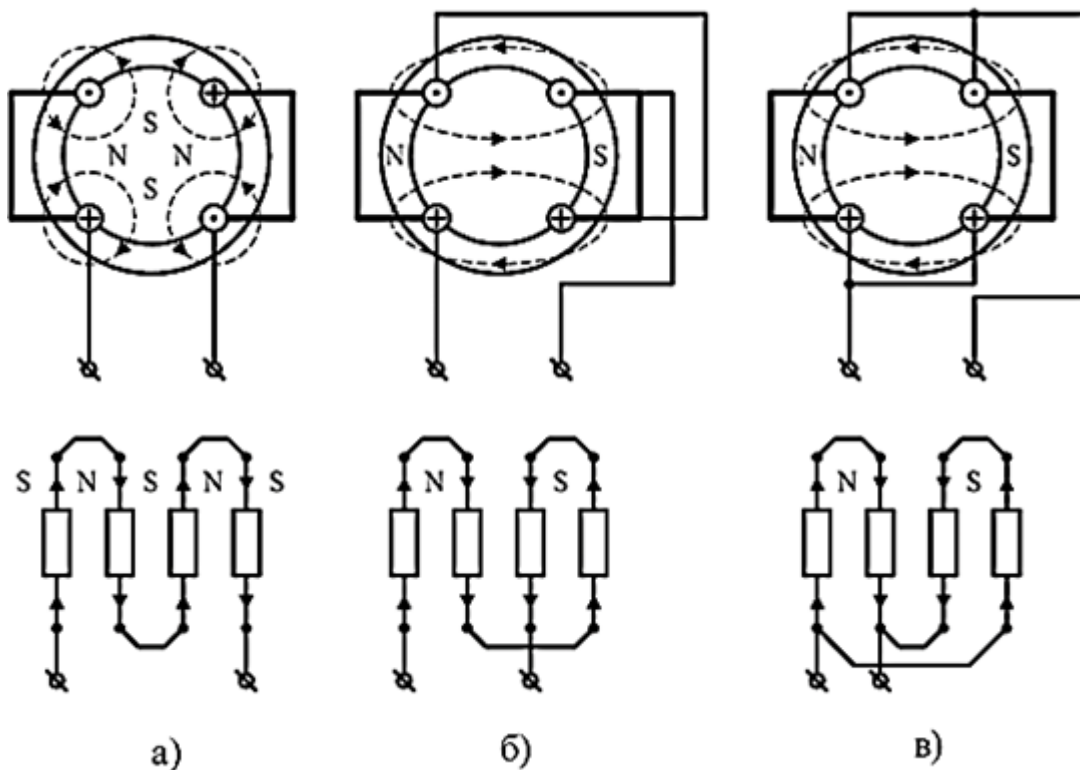


Рисунок 1 - Схеми вмикання секцій однієї фази обмотки статора, що забезпечують зміну числа пар полюсів у співвідношенні 2:1
 а) узгоджено-послідовне; б) зустрічно-послідовне; в) зустрічно-паралельне

Обмотку статора двошвидкісного двигуна можна перемикає за схемами «трикутник» - Δ , «зірка» - Y , «подвійна зірка» - YY . Промисловість випускає двошвидкісні двигуни зі схемами з'єднання обмоток - Δ/YY і Y/YY . На нижній швидкості обмотка з'єднується за схемою «трикутник» або «зірка», а на вищій – в «подвійну зірку». Відповідні схеми з'єднань та підключень у клемній коробці двигуна приведені на рисунку 2. При маркуванні виводів фазних обмоток багатошвидкісних двигунів цифра перед літерним позначенням вказує на кількість полюсів ($2p$) машини, які створює відповідне з'єднання обмоток.

При перемиканні двошвидкісного двигуна з «трикутника» на «подвійну зірку» мають місце такі співвідношення потужностей і моментів:

$$P_{1\Delta} = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos\varphi_{1\Delta} = \sqrt{3}U_{л} \sqrt{3}I_{\phi} \cos\varphi_{1\Delta} = 3U_{л} I_{\phi} \cos\varphi_{1\Delta},$$

$$P_{1YY} = \sqrt{3}U_{л} I_{л} \cos\varphi_{1YY} = \sqrt{3}U_{л} 2I_{\phi} \cos\varphi_{1YY} = 2\sqrt{3}U_{л} I_{\phi} \cos\varphi_{1YY}, \quad (2)$$

$$\frac{P_{1YY}}{P_{1\Delta}} = \frac{2\sqrt{3}U_{л} I_{\phi} \cos\varphi_{1YY}}{3U_{л} I_{\phi} \cos\varphi_{1\Delta}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} = 1,16 \cong const,$$

$$M_{\Delta} = \frac{P_{\Delta}}{\omega_{\Delta}}, \quad M_{YY} = \frac{P_{YY}}{\omega_{YY}} = \frac{P_{YY}}{2\omega_{\Delta}}, \quad \frac{M_{YY}}{M_{\Delta}} = \frac{P_{YY}}{2\omega_{\Delta}} \cdot \frac{\omega_{\Delta}}{P_{\Delta}} = \frac{2\sqrt{3}}{2 \cdot 3} = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Таким чином, якщо вважати, що $\cos\varphi_{1YY} = \cos\varphi_{1\Delta}$, то при перемиканні двигуна на вищу швидкість потужність залишиться майже незмінною, а момент зменшиться у $\sqrt{3}$ раз. Отже, асинхронні двигуни, що мають полюсно-перемикаючу обмотку за схемою «трикутник» – «подвійна зірка» забезпечують регулювання частоти обертання при постійній потужності і є ефективними при регулюванні швидкості обертання робочих машин із нелінійно-спадаючою механічною характеристикою ($x = -1$).

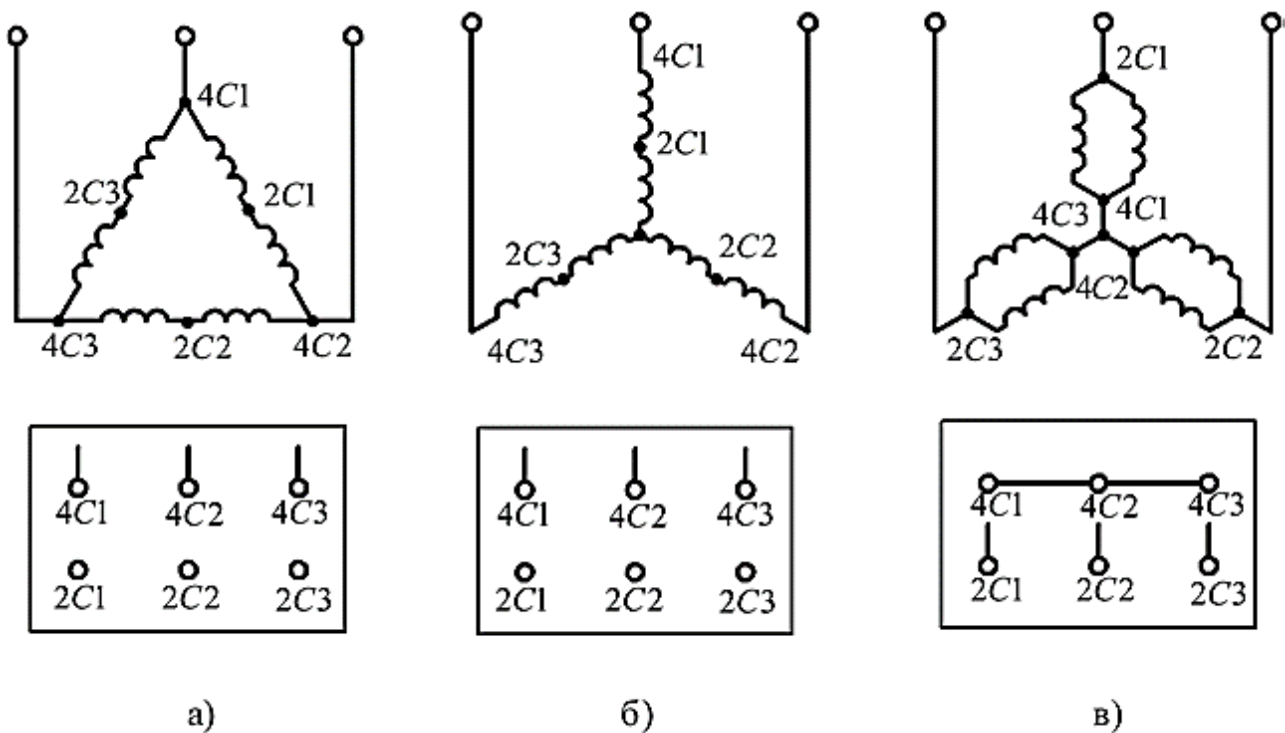


Рисунок 2 - Схеми з'єднання та підключення статорних обмоток двошвидкісного асинхронного двигуна за схемами а) «трикутника» б) «зірки» в) «подвійної зірки»

При перемиканні двошвидкісного двигуна зі схеми «зірка» на «подвійну зірку» споживана з мережі потужність і крутні моменти визначаються залежностями:

$$P_{1Y} = \sqrt{3}U_{л}I_{л}\cos\varphi_{1Y} = \sqrt{3}U_{л}I_{\Phi}\cos\varphi_{1Y},$$

$$P_{1YY} = \sqrt{3}U_{л}I_{л}\cos\varphi_{1YY} = \sqrt{3}U_{л}2I_{\Phi}\cos\varphi_{1YY} = 2\sqrt{3}U_{л}I_{\Phi}\cos\varphi_{1YY}, \quad (3)$$

$$\frac{P_{1YY}}{P_{1Y}} = \frac{2\sqrt{3}U_n I_\phi \cos\varphi_{1YY}}{\sqrt{3}U_n I_\phi \cos\varphi_{1Y}} = \frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = 2,$$

$$M_Y = \frac{P_Y}{\omega_Y}, \quad M_{YY} = \frac{P_{YY}}{\omega_{YY}} = \frac{P_{YY}}{2\omega_Y}, \quad \frac{M_{YY}}{M_Y} = \frac{P_{YY}}{2\omega_Y} \cdot \frac{\omega_Y}{P_Y} = \frac{2}{2} = 1.$$

Таким чином, якщо вважати, що $\cos\varphi_{1YY} = \cos\varphi_{1\Delta}$, то при перемиканні двигуна на вищу швидкість потужність споживана з мережі зростає вдвічі, а момент залишиться незмінним. Схема перемикавання «зірка» – «подвійна зірка» забезпечує регулювання частоти обертання при постійному моменті. Такий спосіб регулювання швидкості є найбільш економічним при регулюванні швидкості обертання робочих машин із механічною характеристикою, що не залежить від швидкості обертання ($x = 0$).

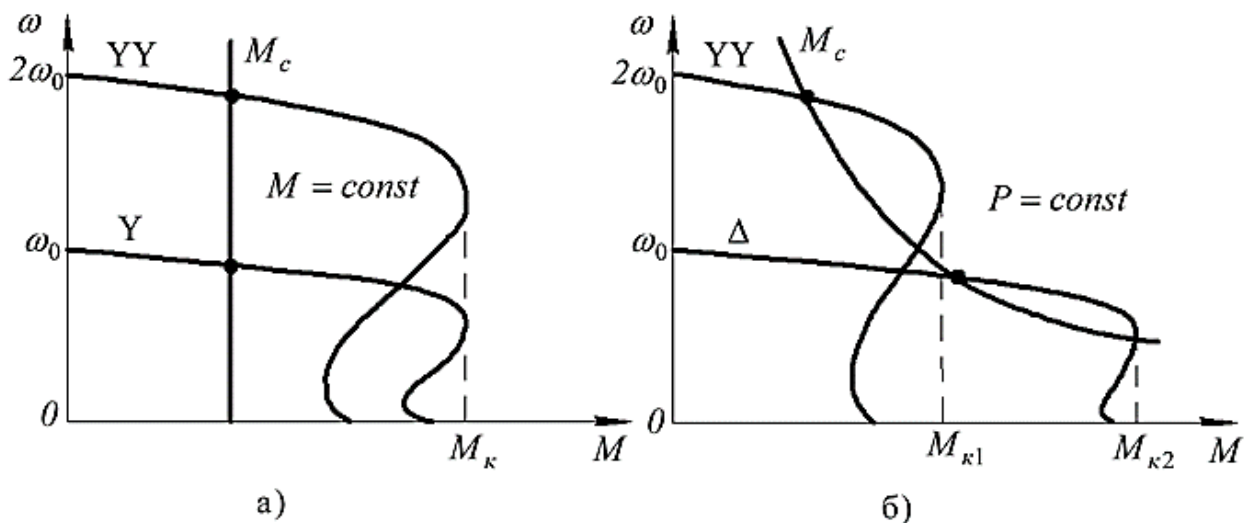


Рисунок 3 - Механічні характеристики асинхронного двигуна при зміні числа пар полюсів вдвічі:

- а) при регулюванні з постійним моментом;
- б) при регулюванні з постійною потужністю

Багатошвидкісні електродвигуни не можуть працювати з високими енергетичними показниками на всіх швидкостях обертання при роботі з машинами, що мають прямолінійно-зростаючу ($x = 1$) і вентиляторну ($x = 2$) характеристики. Допустиме навантаження на двигун повинно прийматись при можливому максимальному значенні швидкості обертання. При нижчих швидкостях обертання двигун буде не завантажений.

До недоліків багатошвидкісних двигунів потрібно віднести великі габарити і масу порівняно з двигунами загальнопромислового виконання, а відповідно і більш високу вартість.

Регулювальні властивості багатошвидкісних асинхронних двигунів характеризуються наступними показниками:

1. Діапазон регулювання швидкості обертання відносно невеликий – 6:1;
2. Характер регулювання – східчастий;
3. Стабільність роботи постійна - забезпечується стійка робота приводу за будь-якої швидкості;
4. Допустиме навантаження двигуна: в залежності від схеми з'єднання обмоток регулювання здійснюється з постійним моментом або з постійною потужністю на валу двигуна;
5. Спосіб економічний – додаткових втрат при перемиканні полюсів не виникає. Для перемикання полюсів використовується відносно проста апаратура.

3 Завдання самостійної роботи студента

1. Опрацювати матеріали по рекомендованій літературі [1 тема 4, лекція «Регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів зміною числа пар полюсів»; 2 с. 209-215, 3 с. 156-161, 4 с. 472-475]. Вивчити будову, схеми перемикання статорних обмоток двошвидкісних двигунів та теоретично дослідити механічні характеристики двигунів при схемі з'єднання обмоток YY , Y , Δ .

2. Виконати навчально – контролюючі завдання до даної лабораторної роботи на НІП ТДАТУ (Кількість правильних відповідей має бути не нижче 60%).

3. Відповісти на контрольні запитання.

4. Виконати пункт 3 звіту та накреслити таблиці 2, 3 та 4.

4 Програма роботи

1. Ознайомитись з досліджуваним електродвигуном та обладнанням робочого місця. Записати паспортні дані обладнання.

2. За каталожними даними розрахувати та побудувати механічні характеристики трифазного двошвидкісного асинхронного електродвигуна $\omega = f(M)$ при зміні кутової швидкості обертання від 0 до ω_0 і схемі з'єднання обмоток статора YY , Δ .

3. Зібрати схему для дослідження механічних та електромеханічних характеристик двошвидкісного асинхронного двигуна.

4. Зняти експериментальні дані для побудови залежності моменту втрат системі машин АД-ГПС від швидкості $\omega = f_3(M_{втрат})$.

5. Дослідити електромеханічну $\omega = \varphi_1(I_1)$ та механічну $\omega = f_1(M)$ характеристики, асинхронного двигуна при з'єднанні обмотки статора за схемою «подвійна зірка» при напрузі мережі $U_m = 220V$.

6. Дослідити електромеханічну $\omega = \varphi_2(I_1)$ та механічну $\omega = f_2(M)$ характеристики, асинхронного двигуна при з'єднанні обмотки статора за схемою «трикутник» при напрузі мережі $U_m = 220V$.

7. Провести дослід по встановленню співвідношення моментів і потужностей споживаних з мережі при з'єднанні обмотки статора за схемою «трикутник» і «подвійна зірка» за номінального навантаження двигуна.

8. За експериментальними даними побудувати електромеханічні і механічні (з урахуванням моменту втрат навантажувальних машин) характеристики досліджуваного двигуна.

9. Провести аналіз механічних характеристик, отриманих експериментальним та розрахунковим шляхом (при цьому врахувати, що експеримент проводиться при зниженій напрузі $\sim 220V$); провести аналіз електромеханічних характеристик, встановивши співвідношення струмів холостого ходу, струмів за критичного ковзання та при пуску. Провести аналіз та встановити співвідношення моментів і потужностей споживаних з мережі при з'єднанні обмотки статора за схемою «трикутник» і «подвійна зірка».

10. Оформити звіт по лабораторній роботі.

5 Технічна характеристика лабораторного устаткування

Таблиця 1 – Технічна характеристика лабораторного устаткування

M1(двошвидкісний двигун)		G1 (генератор)		G2 (генератор)		
Тип	AIP100L8/4Y3		Тип	П-22	Тип	ПБС-32
Схема	Y Y	Δ	P_n , кВт	1,0	P_n , кВт	1,2
P_n , кВт	2,36	1,4	U_n , В	220	U_n , В	220
U_n , В	380	380	I_n , А	5,9	I_n , А	6,5
I_n , А	5,1	4,9	$I_{збн}$, А	0,5	$I_{збн}$, А	0,5
η_n , %	81	72	η_n , %	76,5	η_n , %	82
$\cos\phi$, в.о.	0,89	0,6	n_n , об/хв	1500	n_n , об/хв	1500
n_n , об/хв	1420	716	m , кг	43,8	m , кг	80
μ_n , в.о.	1,4	1,6	ГОСТ	183-66	ТУ	16-514.207-77
μ_k , в.о.	1,9	2	-	-	-	-
μ_{min} , в.о.	1	1,5	-	-	-	-
m , кг	29,5		-	-	-	-
ГОСТ	183-74		-	-	-	-
Комплект вимірювальний К 505						
Клас точності вбудованих у комплект приборів – 0,5						
Час встановлення показів приборів комплекту – не більше 4 с						
Мультиметр цифровий Digital DT9208A						
Амперметр						
Вольтметр						
Комплекти опорів на 16 Ом; 0,6 Ом;						

6 Вказівки щодо виконання роботи

1. Ознайомитись з експериментальною установкою, записати каталожні дані обладнання.

2. Розрахувати та побудувати механічні характеристики досліджуваного двигуна по каталожним даним при зміні кутової швидкості обертання від 0 до ω_0 і схемі з'єднання обмоток статора YY, Δ.

Механічну характеристику будують за п'ятьма характерними точками та формулою Клосса.

Характерними точками механічної характеристики АД є:

1. Точка ідеального холостого ходу із координатами $\omega = \omega_0, M = 0$.

Синхронна кутова швидкість визначається за рівнянням

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}. \quad (4)$$

2. Точка номінального навантаження $\omega = \omega_n, M = M_n$.

Кутова номінальна швидкість визначається як

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30}, \quad (5)$$

де n_n - номінальна швидкість обертання електродвигуна, об/хв.

Номінальний момент, що розвиває двигун

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (6)$$

де P_n - номінальна потужність електродвигуна, Вт.

3. Точка максимальної перевантажувальної здатності $\omega = \omega_k, M = M_k$.

Швидкість, за якої двигун розвиває максимальний момент

$$\omega_k = \omega_0(1 - S_k). \quad (7)$$

Критичне ковзання

$$S_k = S_n \frac{\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1 + 2S_n(\mu_k - 1)}}{1 - 2S_n(\mu_k - 1)}. \quad (8)$$

Номінальне ковзання

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}. \quad (9)$$

Максимальний момент, який розвиває двигун

$$M_{\kappa} = \mu_{\kappa} M_H, \quad (10)$$

де μ_{κ} - кратність максимального моменту, в.о.

4. Точка мінімального моменту $\omega = \omega_{\min}$, $M = M_{\min}$.

Швидкість, за якої двигун досягає мінімального моменту

$$\omega_{\min} = \omega_0 (1 - S_{\min}), \quad (11)$$

де S_{\min} - ковзання, при якому спостерігається провал моменту, в.о.,

$$S_{\min} = 0,8 \dots 0,85.$$

Мінімальний момент двигуна

$$M_{\min} = \mu_{\min} M_H, \quad (12)$$

де μ_{\min} - кратність мінімального моменту, в.о.

5. Точка пускового моменту $\omega = 0$, $M = M_n$.

Пусковий момент двигуна

$$M_n = \mu_n M_H, \quad (13)$$

де μ_n - кратність пускового моменту, в.о.

Додаткові точки для побудови механічної характеристики отримують за рівнянням Клосса

$$M_i = \frac{2M_{\kappa}(1 + \alpha S_{\kappa})}{\frac{S_i}{S_{\kappa}} + \frac{S_{\kappa}}{S_i} + 2\alpha S_{\kappa}}, \quad (14)$$

де $\alpha = \frac{R_1}{R_2}$ - відношення активного опору обмотки статора до приведенного

значення опору обмотки ротору, в.о. Приймаємо $\alpha = 1$;

S_i - ковзання електродвигуна, в.о.

Швидкість обертання АД за будь-якого ковзання можна визначити за виразом

$$\omega = \omega_0 (1 - S_i). \quad (15)$$

Момент, що розвиває двигун при зниженні напруги на його обмотках визначається

$$M'_{i(U_m)} = k_U^2 M_{i(U_n)}, \quad (16)$$

де $k_U = \frac{U_m}{U_n}$ - коефіцієнт зниження напруги, в.о.;

U_m - дійсне значення напруги мережі, В;

U_n - номінальна напруга електродвигуна, В.

Результати розрахунків звести до таблиці 2 та в одній системі координат побудувати механічні характеристики двошвидкісного асинхронного двигуна при схемі з'єднання статорних обмоток $Y\bar{Y}$ та Δ .

Таблиця 2 – Результати розрахунку механічних характеристик двошвидкісного асинхронного двигуна

Схема з'єднання $Y\bar{Y}$											
S_i , в.о.	0			S_n			S_k			S_{min}	1
ω_i , рад/с	ω_0			ω_n			ω_k			ω_{min}	0
M_i , Нм ($U_m = 380V$)	0			M_n			M_k			M_{min}	M_n
M'_i , Нм ($U_m = 220V$)											
Схема з'єднання Δ											
S_i , в.о.	0			S_n			S_k			S_{min}	1
ω_i , рад/с	ω_0			ω_n			ω_k			ω_{min}	0
M_i , Нм ($U_m = 380V$)	0			M_n			M_k			M_{min}	M_n
M'_i , Нм ($U_m = 220V$)											

3. Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження характеристик двошвидкісного АД представлена на рисунку 4. Навантаження для досліджуваного електродвигуна $M1$ створюють два генератори постійного струму $G1$ і $G2$. Величину моменту опору регулюють реостатами у якірних колах $Rp3$, $Rp4$ та у колах обмоток збудження $Rp1$, $Rp2$ генераторів.

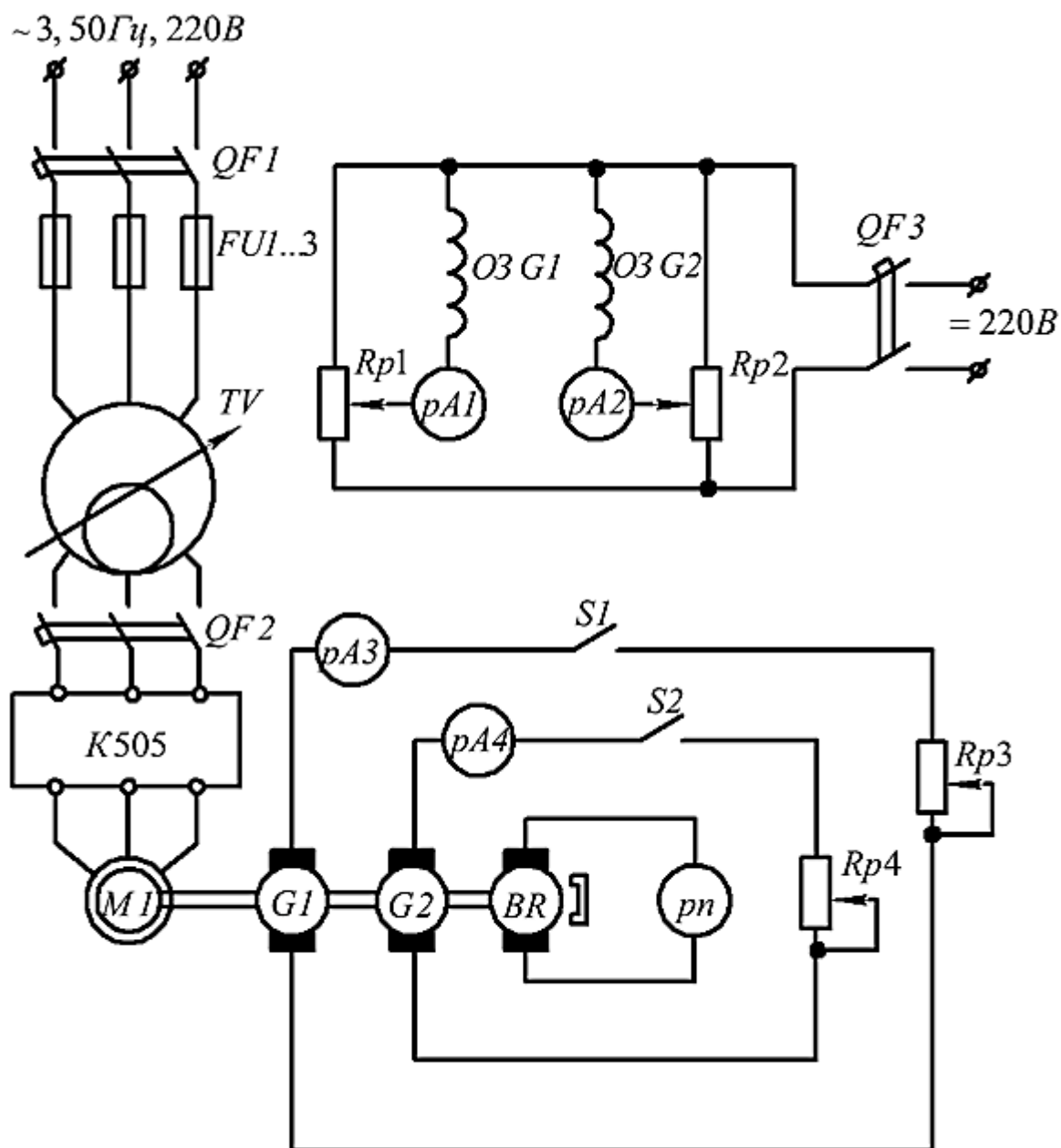


Рисунок 4 - Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження характеристик двошвидкісного АД

4. Провести дослід по визначенню моменту втрат $M_{втрат}$, навантажувальних генераторів $G1$ і $G2$. Дослід проводиться при розімкнених контактах рубильників $S1$ та $S2$ (режим холостого ходу) на двох швидкостях обертання АД. Для цього обмотку АД з'єднують за схемою YU та запускають двигун $M1$ послідовним включенням автоматичних вимикачів $QF1$ та $QF2$. Далі провести вимірювання по фазам потужності, споживаної АД з мережі, та визначити швидкість обертання ротору машини. Результати дослід занести до таблиці 3.

Таблиця 3 - Дані дослідження моменту втрат $\omega = f_3(M_{втрат})$ у системі машин АД-ГПС

P_{0A} , Вт	P_{0B} , Вт	P_{0C} , Вт	$\sum P_{втрат}$, Вт	n , об/хв	ω , рад/с	$M_{втрат}$, Нм
Схема з'єднання - Y-Y						
Схема з'єднання - Δ						

Потужність, що споживає АД з мережі, йде на покриття власних втрат холостого ходу та втрат холостого ходу навантажувальних генераторів (потужністю електричних втрат в обмотці АД нехтуємо)

$$\sum P_{втрат} = P_{0АД} + P_{0ГПС} = P_{0A} + P_{0B} + P_{0C}, \quad (17)$$

де $P_{0АД}$ – потужність холостого ходу асинхронного електродвигуна, Вт;

$P_{0ГПС}$ – сумарна потужність холостого ходу генераторів постійного струму, Вт.

Момент втрат у системі машин АД-ГПС визначається

$$M_{втрат} = \frac{P_{втрат}}{\omega}, \quad (18)$$

де ω - швидкість обертання якорю ГПС, рад/с.

За розрахунковими даними таблиці 3 побудувати залежність $\omega = f_3(M_{втрат})$, яка представляє собою пряму.

5. Зняти електромеханічні та механічні характеристики АД. Для цього обмотку статора двигуна $M1$ з'єднати за схемою “подвійна зірка”. Запустити досліджуваний двигун $M1$ послідовним включенням автоматичних вимикачів $QF1$ та $QF2$. Автоматом $QF3$ подати напругу на обмотки збудження генераторів $G1$ і $G2$. Реостатами $Rp1$, $Rp2$ в колі обмоток збудження машин $G1$ і $G2$ встановити номінальний струм. Замкнути рубильники $S1$ і $S2$. Змінюючи навантаження на валу досліджуваного двигуна за допомогою реостатів $Rp3$, $Rp4$ в якірних колах навантажувальних генераторів, вимірюють частоту обертання, струм у якірному колі та колі збудження навантажувальних машин $G1$ і $G2$, струм статора досліджуваного двигуна $M1$. Першу точку зняти за відсутності навантаження машин $G1$ і $G2$. Обов'язково експериментально визначити максимальний момент, що спроможний нести двигун за даної схеми з'єднання обмоток. Вимкнути установку. Змінити схему з'єднання обмоток досліджуваного двигуна $M1$ на “трикутник”. Повторити дослід. Дані досліду занести до таблиці 4.

Таблиця 4 - Результати експериментального дослідження електромеханічних $\omega = \varphi(I_1)$ та механічних $\omega = f(M)$ характеристик двошвидкісного асинхронного електродвигуна за схем з'єднання обмоток YY та Δ за напруги живлення $U_l = \underline{\hspace{2cm}}$ В

Струм статора АД I_l, A	Напруга тахогенератора U_{TG}, B	Швидкість обертання n , об/хв	Швидкість обертання ω , рад/с	Електромагнітний момент						Момент втрат $M_{втрат}, Нм$	Момент АД при $U_l, M_{U_l}, Нм$	Момент АД при $U_n, M_{U_n}, Нм$
				$I_{збG1}, A$	$I_{яG1}, A$	$M_{EM G1}, Нм$	$I_{збG2}, A$	$I_{яG2}, A$	$M_{EM G2}, Нм$			
Схема з'єднання - YY												
Схема з'єднання - Δ												

Електромагнітний момент навантажувальних генераторів визначається

$$M_{EMi} = k\Phi_{\delta} I_{яi}, \quad (19)$$

де $k\Phi_{\delta}$ – коефіцієнт, що залежить від величини магнітного потоку генератора під час проведення дослідів.

Якщо вважати, що магнітна система машин постійного струму насичена, то з достатньою для дослідів точністю $k\Phi_{\delta}$ можна розрахувати як

$$k\Phi_{\delta} = \frac{I_{зб}}{I_{збн}} k\Phi_n, \quad (20)$$

де $k\Phi_n$ – параметр, що визначається за паспортними даними навантажувальної машини постійного струму.

$$k\Phi_n = \frac{U_n + I_n R_{я}}{\omega_n}, \quad (21)$$

де $R_{я}$ – опір кола якоря, що визначається за паспортними даними або безпосереднім вимірюванням, Ом.

$$R_{я} = 0,5(1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n}. \quad (22)$$

Сумарний навантажувальний момент $\sum M_{EM}$ знаходиться шляхом додавання електромагнітних моментів генераторів $G1$ і $G2$.

Величина моменту втрат $M_{втрат}$ визначається з графіку залежності $\omega = f_3(M_{втрат})$ за необхідної швидкості обертання двигуна.

Електромагнітний момент двошвидкісного АД

$$M_{Ui} = M_{втрат} + \sum M_{EM} \quad (23)$$

Природну механічну характеристику досліджуваного АД отримують при перерахунку моменту машини на номінальну напругу 380 В згідно з рівнянням (16).

6. Провести дослід по встановленню співвідношення моментів і потужностей споживаних з мережі при з'єднанні обмотки статора за схемою «трикутник» і «подвійна зірка». Для цього включити експериментальну установку для роботи в режимі навантаження. Встановити досліджуваному двигуну $M1$ за струмом статора номінальне навантаження шляхом зміни опору у колах збудження та якірних колах навантажувальних генераторів $G1$ і $G2$. Виміряти потужність споживану з мережі АД по фазам, та струм якоря і збудження навантажувальних генераторів.

Таблиця 5 - Результати експериментального дослідження по встановленню співвідношення моментів і потужностей двошвидкісного АД

I_1 , А	P_{1A} , Вт	P_{1B} , Вт	P_{1C} , Вт	$\sum P_1$, Вт	Електромагнітний момент						
					$I_{збG1}$, А	$I_{яG1}$, А	M_{EMG1} , Нм	$I_{збG2}$, А	$I_{яG2}$, А	M_{EMG2} , Нм	$\sum M_{EM}$, Нм
Схема з'єднання - УУ											
Схема з'єднання - Δ											

7. За даними таблиці 4 побудувати на одному графіку механічні характеристики двошвидкісного АД при з'єднанні обмоток за схемою «подвійна зірка» та «трикутник». За експериментальними даними таблиці 5 визначити співвідношення активних потужностей, споживаних з мережі, $\frac{P_{1YY}}{P_{1\Delta}}$ та моментів, що розвиває двигун при перемиканні обмоток з «подвійної зірки» на «трикутник» $\frac{M_{YY}}{M_{\Delta}}$.

8. За даними таблиці 4 побудувати електромеханічні характеристики для обох схем вмикання. Для однієї зі схем визначити значення струму холостого ходу, струму при критичному ковзанні та пускового струму в долях від номінального.

9. Порівняти результати розрахунку механічної характеристики за каталожними та експериментальними даними. Врахувати факт проведення досліду при зниженій напрузі мережі $U_m=220\text{В}$.

7 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити:

1. Паспортні дані обладнання та приладів.
2. Результати розрахунку та графіки механічних характеристик досліджуваного двигуна за різних схем з'єднання обмоток, розраховані за каталожними даними.
3. Схему електричну принципову лабораторної установки.
4. Таблиці з результатами експериментальних досліджень.
5. Результати розрахунку моменту втрат та механічних характеристик АД.
6. Графіки залежностей електромеханічної $\omega = \varphi(I_1)$ та механічної $\omega = f(M)$ характеристик досліджуваного АД при з'єднанні обмоток за схемами YY та Δ , отримані експериментальним шляхом.
7. Аналіз отриманих результатів.

8 Контрольні питання

1. Назвіть можливі способи регулювання швидкості асинхронних електродвигунів?
2. Охарактеризуйте показники регулювання швидкості асинхронних електродвигунів зміною числа пар полюсів?
3. Розкажіть принцип зміни числа полюсів в багатошвидкісних асинхронних електродвигунах?
4. Які переваги й недоліки регулювання швидкості обертання електродвигуна зміною числа пар полюсів?
5. Які схеми перемикання багатошвидкісних електродвигунів Ви знаєте? Як змінюється при цьому швидкість обертання двигуна?

6. Яка схема перемикання обмоток статора забезпечує сталість моменту, сталість потужності?
7. Що таке критичний та пусковий момент, який розвиває електродвигун?
8. Методика розрахунку механічних характеристик АД за каталожними даними?
9. Як залежить момент, що несе електродвигун, від величини прикладеної напруги, кількості пар полюсів?
10. Методика експериментального отримання механічних характеристик двошвидкісного АД при зміні числа пар полюсів?
11. Співвідношення потужностей та моментів АД при перемиканні обмоток зі схеми $Y\bar{Y}$ на Y, Δ ?
12. Для яких робочих механізмів ефективним буде регулювання швидкості при перемиканні обмоток зі схеми $Y\bar{Y}$ на Y, Δ ?

9 Список літератури

1. Лекції з дисципліни «Основи електропривода» / С.О. Квітка - НІП ТДАТУ. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://nip.tsatu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=3766>.
2. Електропривод: підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко [та інш.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. - К.: «Ліра-К», 2009. - 504 с.
3. Електропривод: ч.1 / О.С. Марченко, Ю.М. Лаврінченко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; За ред. О.С. Марченка. - К.: Урожай, 1995. - 208 с.
4. Назарьян Г.Н. Электрические машины: Учебное издание для вузов. – Мелитополь, Люкс, 2011. – 827с., ил.

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ЗВІТУ

З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра «Електротехніка і електромеханіка
імені професора В.В. Овчарова»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

з дисципліни «Основи електропривода»

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ РЕГУЛЮВАННЯ
ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА
ЗМІНОЮ ЧИСЛА ПАР ПОЛЮСІВ

ЗВІТ

Студент _____ групи

П.І.Б.

(підпис)

Службові примітки

Роботу захищено з оцінкою _____

Викладач _____

П.І.Б.

(підпис)

Мелітополь, 20__ р.

