

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»

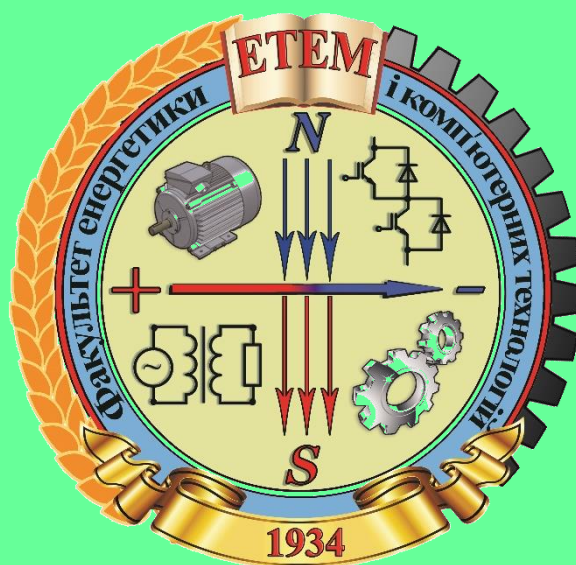
ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТА
МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО
ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ**

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 електромеханічних та механічних характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором» 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. – 32 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 №11 від 29 квітня 2020 р.

Затверджено методичною комісією факультету енергетики і комп'ютерних технологій ТДАТУ

Протокол №10 від 27 травня 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 ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ	8
1 Мета роботи	8
2 Основні теоретичні відомості	8
3 Завдання самостійної роботи студента	15
4 Програма роботи	16
5 Технічна характеристика лабораторного устаткування	17
6 Вказівки щодо виконання роботи	18
7 Вказівки щодо оформлення звіту	30
8 Контрольні питання	30
9 Список літератури	31
ДОДАТОК А Зразок оформлення титульного листа звіту з лабораторної роботи	32

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 реостата в колі збудження двигунів постійного струму - повністю виведено.

Напругу на затискачі електродвигуна потрібно подавати послідовним

вмиканням апаратури керування 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 в 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 струмопровідних 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, викладачу чи лаборанту. Без їх дозволу знову схему не вмикати. Результати дослідів потрібно показати керівнику 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 за темою лабораторної роботи, 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 під час 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 під час 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 ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ

1 Мета роботи: засвоїти методику розрахунку і експериментального одержання електромеханічних та механічних характеристик трифазного асинхронного електродвигуна з фазним ротором; дослідити вплив додаткового опору в колі ротора на характеристики двигуна

2 Основні теоретичні відомості

Основною конструктивною відмінністю асинхронних двигунів з фазним ротором є можливість вводу додаткового опору у роторне коло машини. Загалом, складність конструкції, достатньо висока вартість машини не сприяють їх широкому розповсюдженню. АД з фазним ротором використовують у приводах з важкими умовами пуску, для обмеження пускових струмів або там, де потрібне регулювання швидкості обертання в невеликому діапазоні. Це приводи ліфтових механізмів, підйомних кранів та ін. Потужність двигунів з фазним ротором становить від 1,5 до 250 кВт при закритому виконанні.

Електромеханічні $\omega = f(I'_2)$, $\omega = f(I_1)$ і механічні $\omega = f(M)$ характеристики двигунів з фазним ротором аналогічні характеристикам АД з короткозамкненим ротором і можуть бути описані наступними рівняннями

$$I'_2 = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_1 + R'_2 / S)^2 + (X_1 + X'_2)^2}}, \quad (1)$$

де U_ϕ – діюче значення фазної напруги, В;

S – ковзання електродвигуна, в.о.;

R_1, X_1 – активний та індуктивний опори обмотки статора, Ом;

R'_2, X'_2 – приведений активний та індуктивний опори обмотки ротора, Ом.

$$I_1 = \sqrt{I_\mu^2 + (-I'_2)^2}, \quad (2)$$

де I_μ – струм намагнічування – струм холостого ходу, А.

Рівняння електромагнітного моменту двигуна в параметричній формі має вигляд

$$M = \frac{3U_\phi^2 R'_2}{\omega_0 S \left[(R_1 + R'_2 / S)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]} \quad (3)$$

де ω_0 – синхронна швидкість обертання електродвигуна, рад/с.

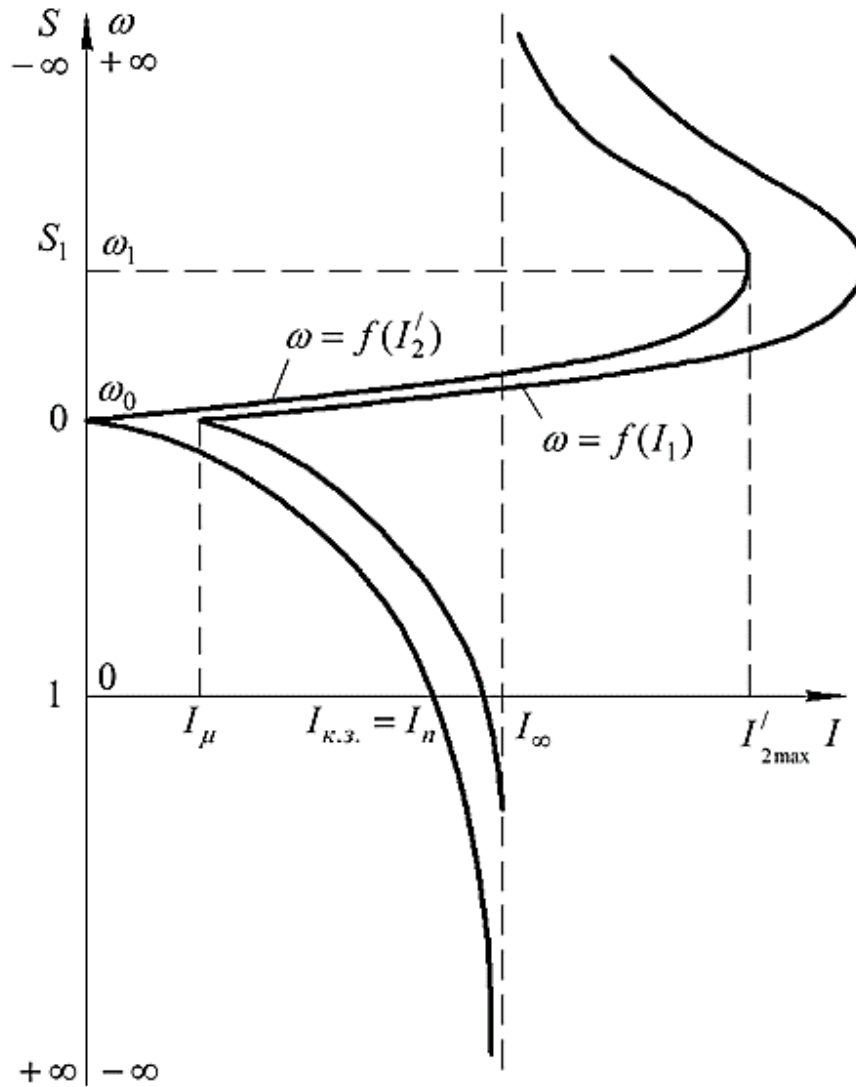


Рисунок 1 – Електромеханічні характеристики асинхронного двигуна за струмом ротора $\omega = f(I'_2)$ та статора $\omega = f(I_1)$

Залежність $\omega = f(M)$, побудована за рівнянням (3), має вигляд, показаний на рисунку 2.

Графік залежності має два екстремуми: критичні (максимальні) моменти в двигунному і генераторному режимах. Координати точок максимумів моменту (критичне ковзання S_k і максимальний момент M_k) знаходять як

$$S_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}, \quad (4)$$

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0 \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}. \quad (5)$$

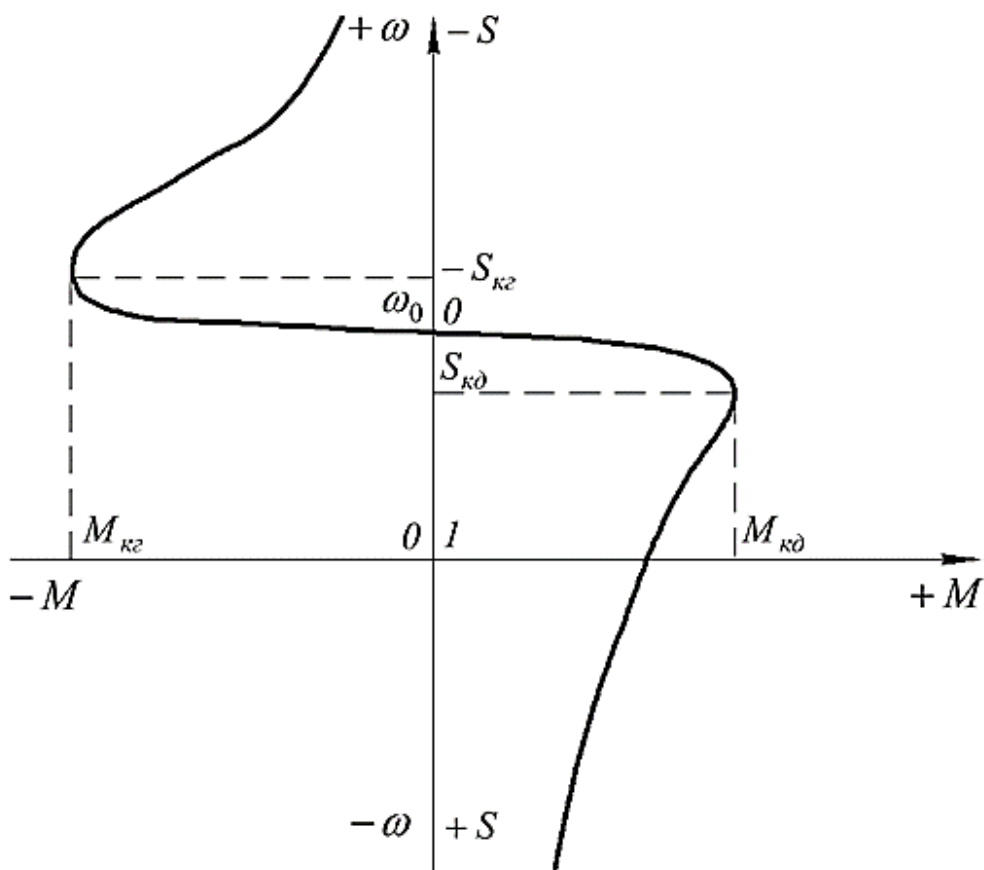


Рисунок 2 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

Критичний момент АД є найбільшим значенням електромагнітного моменту, який може розвивати двигун, що працює при заданих значеннях напруги і опорях R_1, X_k .

У формулах (4) і (5) знак «+» ставлять при розрахунку характеристики в двигунному режимі роботи, знак «-» - у генераторному.

Аналізуючи рівняння (1-5) можна зробити наступні висновки:

- при ковзанні $S = 0$ струм ротора дорівнює нулю;
- при ковзанні $S = 1$ в роторі протікає пусковий струм, незалежний від навантаження;
- крутний момент АД пропорційний квадрату напруги;
- критичне ковзання за абсолютною величиною однакове для двигунного і генераторного режимів;
- критичне ковзання не залежить від напруги, а лише від параметрів двигуна;
- критичне ковзання пропорційне активному опору кола ротора;
- критичний момент за абсолютною величиною в режимі генератора більший, ніж у двигунному режимі, що обумовлено впливом падіння напруги на активному опорі статора.

З рівнянь (4) та (5) випливає, що критичне ковзання АД пропорційне активному опору кола ротора, а його критичний момент не залежить від даного

опору. Внаслідок цього у АД з фазним ротором при введенні резисторів в коло ротора максимум кривої моменту зміститься в сторону більших ковзань.

Штучну механічну характеристику, що відповідає заданому значенню додаткового опору $R_{2\delta}$, ввімкненого в коло фазного ротора, знаходять перерахуванням ковзань за формулою

$$S_{ui} = S_{ni} \frac{R_2 + R_{2\delta}}{R_2}, \quad (6)$$

де S_{ui} , S_{ni} – ковзання на штучній і природній механічній характеристиці, в.о.;

R_2 , $R_{2\delta}$ – активний опір фази обмотки ротора та додаткового реостата, Ом.

Опір фази ротора визначають

$$R_2 = R_{2H} S_H = \frac{E_{2H}}{\sqrt{3} I_{2H}} S_H, \quad (7)$$

де R_{2H} – номінальний опір фази ротора, Ом;

E_{2H} – ЕРС ротора при $S = 1$, В;

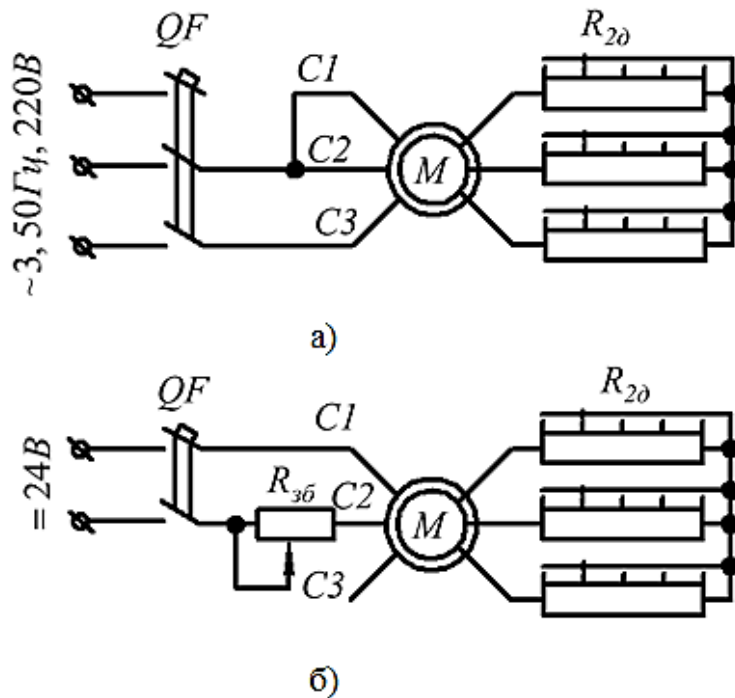
S_H – номінальне ковзання ЕД, в.о.;

I_{2H} – номінальний струм ротора, А.

Принцип побудови штучних МХ наведено на рисунку 4.

Енергетичний режим роботи АД з фазним ротором визначається величиною і знаком ковзання, а саме:

- 1) $S = 0$, $\omega = \omega_0$ – режим ідеального холостого ходу (машина споживає з мережі струм намагнічування, ротор двигуна обертає робоча машина);
- 2) $0 < S < 1$, $\omega_0 > \omega > 0$ – двигунний режим – сімейство кривих 1 рисунку 4;
- 3) $S = 1$, $\omega = 0$, $M = M_{к.з.} = M_n$ – режим короткого замикання (споживана з мережі електрична енергія витрачається на нагрівання опорів обмоток двигуна);
- 4) $S < 0$, $\omega > \omega_0$ – режим рекуперативного гальмування (генераторний режим паралельно з мережею живлення) – сімейство кривих 2 рисунку 4. Має місце при частоті обертання ротора вище синхронної;
- 5) $S > 1$, $\omega < 0$ – режим гальмування противмиканням (генераторний режим послідовно з мережею живлення) – сімейство кривих 3 рисунку 4. Має місце при зміні напрямку обертання магнітного поля під час обертання ротора двигуна. Цей спосіб дає можливість знизити швидкість до нуля;
- 6) $1 > S > 0$, $\omega_0 < \omega < 0$ – режим динамічного гальмування (генераторний режим незалежно від мережі змінного струму) – сімейство кривих 4 рисунку 4. Може бути здійсненим при збудженні статора змінним і постійним струмом.



а – при збудженні статора змінним струмом і з'єднанні обмотки за схемою «трикутник»; б – при збудженні постійним струмом

Рисунок 3 – Схема вмикання трифазного асинхронного електродвигуна з фазним ротором у режимі динамічного гальмування

Динамічне гальмування при збудженні змінним струмом надійно гальмує систему, якщо критичне ковзання більше одиниці (додатковий опір роторного кола $R_{20} = (10...20)R_2$). При збудженні статорної обмотки постійним струмом сприятливі гальмівні характеристики мають місце, якщо опір кола ротора збільшений приблизно у 5...10 разів. Струм збудження при динамічному гальмуванні дають в 2...3 рази більший, ніж холостого ходу в трифазному режимі при номінальній напрузі.

Двигуни з фазним ротором завдяки особливостям конструкції дозволяють змінювати в них опір роторного кола для отримання необхідних параметрів їх механічних характеристик. На практиці цю властивість застосовують або з метою регулювання швидкості АД, або обмеження пускових струмів і моментів. Необхідно мати на увазі, що введення додаткового опору у коло ротора призводить до збільшення втрат енергії, а отже, і зниження ККД двигуна.

Значний пусковий струм зменшує надійність роботи апаратури керування, захисту і автоматики тощо. Великий пусковий момент сприяє швидкому спрацюванню передавального механізму. Крім того, при пуску порівняно потужних двигунів ($P_n \geq 11 \text{ кВт}$) від сільськогосподарських мереж через великі пускові струми сильно знижується напруга як на їх затискачах, так і на інших двигунах, що живляться від цієї мережі. Пусковий момент двигуна при зниженій напрузі значно знижується, що може унеможливити пуск такого двигуна в даній

точці мережі та привести до зупинки під навантаженням працюючих електродвигунів.

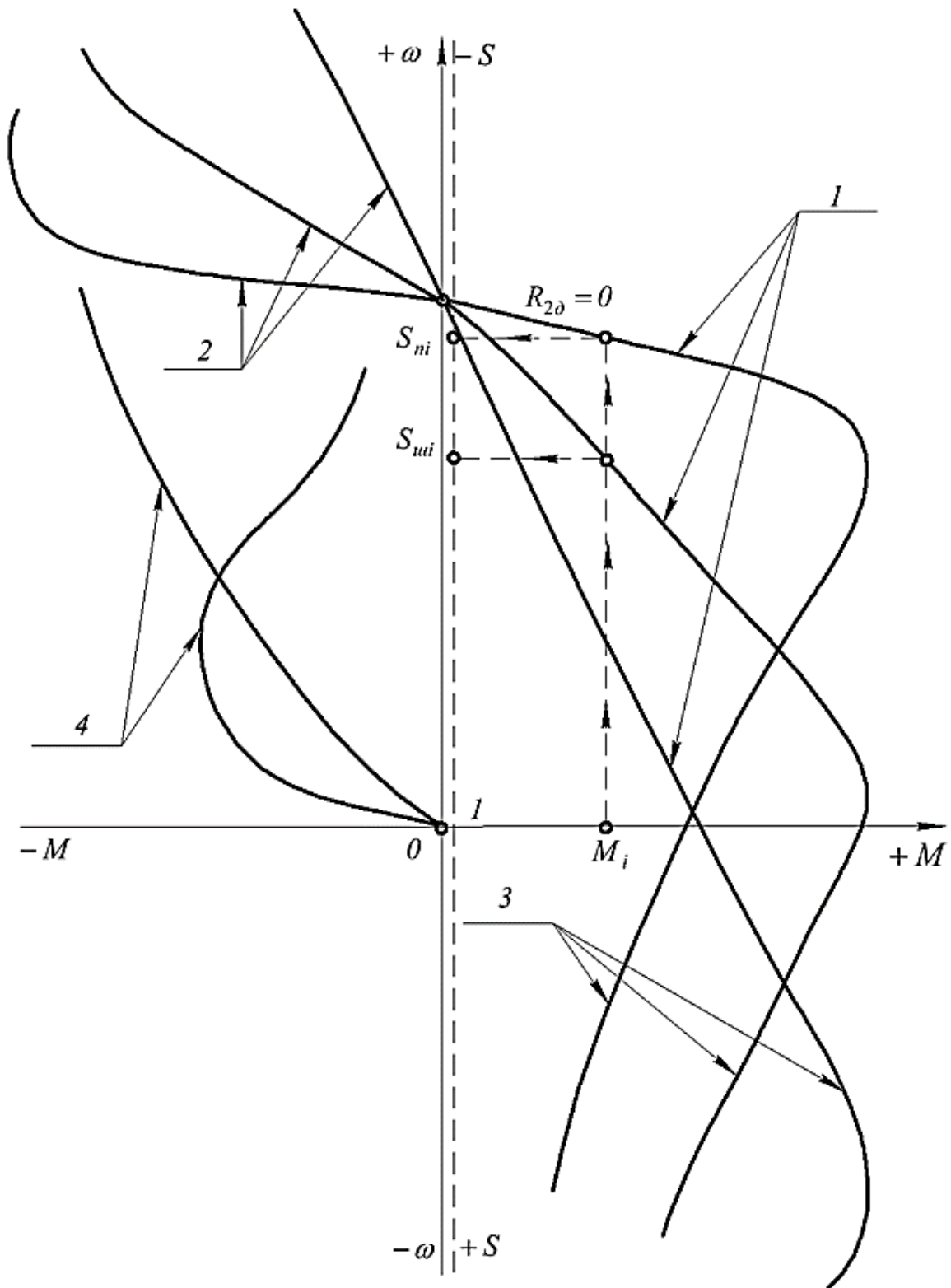
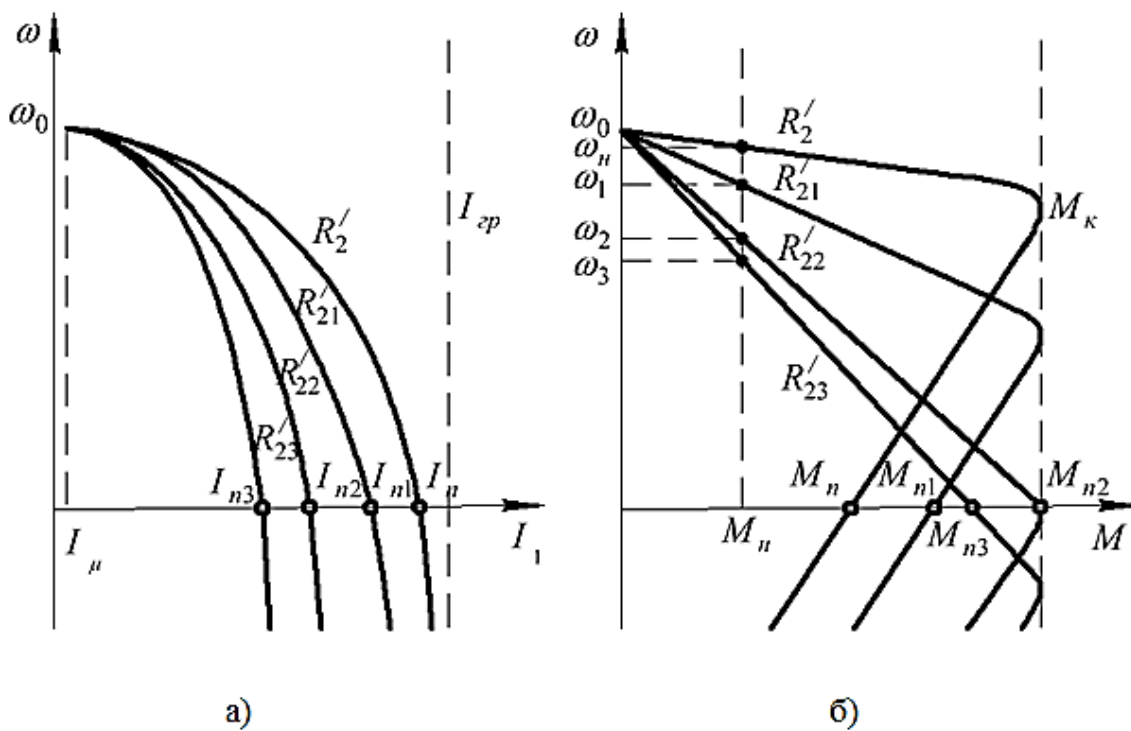


Рисунок 4 – Принцип побудови штучних механічних характеристик при введенні додаткового активного опору у роторне коло машини та ілюстрація енергетичних режимів роботи АД з фазним ротором

Саме тому пускові властивості двигунів визначаються в першу чергу значенням пускового струму I_n або його кратністю $k_i = I_n / I_n$ і значенням пускового моменту M_n або його кратністю $\mu_n = M_n / M_n$. Двигун з гарними пусковими властивостями розвиває значний пусковий момент при порівняно невеликому пусковому струмі. Однак отримання такого поєднання пускових властивостей в асинхронних двигунах пов'язане з певними труднощами, а іноді виявляється неможливим. АД з фазним ротором спроможні забезпечити найбільш сприятливе співвідношення між пусковим моментом і пусковим струмом: значний пусковий момент при невеликому пусковому струмі ($k_i = 2...3$). До недоліків пускових властивостей двигунів з фазним ротором слід віднести деяку складність, тривалість і неекономічність пускової операції, що обумовлено невиробничими витратами електроенергії на пусковому реостаті.

Аналізуючи рівняння (1), (3) під час пуску електродвигуна при $S = 1$ стає зрозумілим, що спостерігається однозначна залежність між пусковим струмом і величиною додаткового опору – зі збільшенням опору зменшується струм. В той час як залежність пускового моменту від величини активного опору роторного кола неоднозначна. Електромеханічні і механічні характеристики АД при введенні додаткового активного опору у роторне коло представлені на рисунку 5. Вплив збільшеного значення активного опору на пусковий момент двигуна представлено на рисунку 6.



а – електромеханічна; б – механічна

Рисунок 5 – Характеристики АД при введенні додаткового активного опору у роторне коло

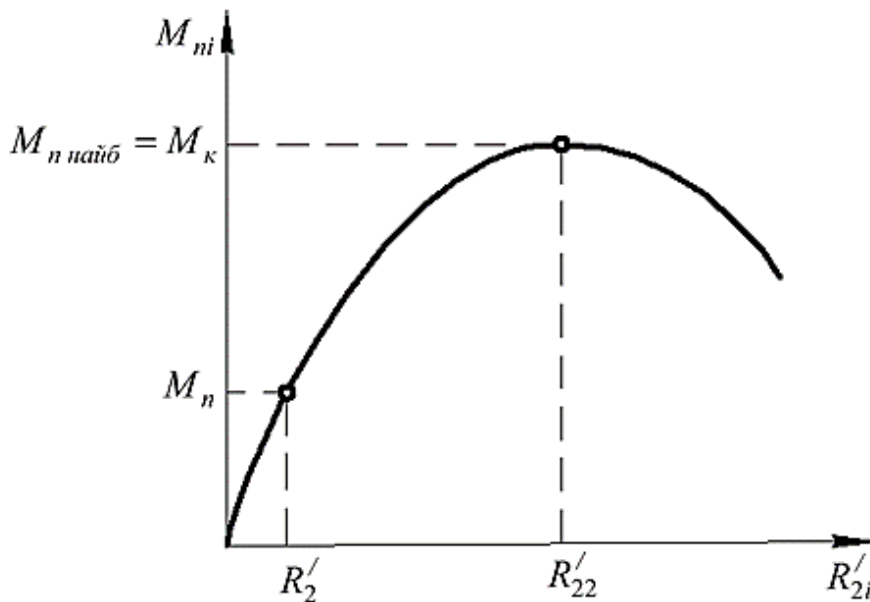


Рисунок 6 – Залежність пускового моменту від активного опору кола ротора

Як видно з рисунків 5 та 6, за відсутності додаткового опору ($R'_{2\partial}$) пусковий момент рівний M_n . При введенні додаткового активного опору, коли опір роторного кола становить $R'_{21} = R'_2 + R'_{2\partial} < X_1 + X'_2$ пусковий момент зростає і за умови $R'_{22} = R'_2 + R'_{2\partial x} = X_1 + X'_2$ досягає найбільшого значення $M_{n\text{ найб}} = M_{\kappa}$. За умови $R'_{23} = R'_2 + R'_{2\partial} > X_1 + X'_2$ пусковий момент зменшується.

При виборі величини опору пускового реостата виходять із умов пуску двигуна: якщо двигун вмикають при значному навантажувальному моменті на валу, опір пускового реостата вибирають таким, щоб забезпечити найбільший пусковий момент; якщо ж двигун вмикають при невеликому навантажувальному моменті, коли пусковий момент не має визначального значення для пуску, доцільно обирати опір пускового резистора за умовою $R'_{23} = R'_2 + R'_{2\partial} > X_1 + X'_2$. В цьому випадку пусковий момент дещо менший за максимальне значення, проте пусковий струм значно зменшується.

Для регулювання частоти обертання АД у коло ротора замість пускового вмикають регулювальний реостат, що дозволяє змінювати активний опір кола ротора при струмах навантаження. При цьому збільшення активного опору роторного кола веде до зниження швидкості обертання машини при незмінному навантаженні АД – точки $\omega_1 - \omega_3$ на графіку рисунку 4, б.

3 Завдання самостійної роботи студента

1. Опрацювати матеріал по рекомендованій літературі [1, тема 2, лекція «Статичні механічні та електромеханічні характеристики трифазних

асинхронних електродвигунів. Природні та штучні механічні характеристики трифазних асинхронних електродвигунів. Механічні характеристики АД у гальмівних режимах. Способи пуску, обмеження пускових струмів і моментів АД»; 2, с. 81-94, 215-218; 3, с. 101-103; 4, с. 463-465; 481-483].

2. Відповісти на контрольні запитання.

3. Виконати пункт 3 звіту та накреслити таблиці 2-7.

4 Програма роботи

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

2. Експериментально визначити омичний опір фази статора R_1 , ротора R_2 АД, опір пускового реостату R_x по ступенях. Привести ці опори до розрахункової робочої температури.

3. За каталожними даними розрахувати та побудувати природну та штучну (при введенні в коло ротора усіх ступенів пускового реостату) механічні характеристики трифазного АД $\omega = f(M)$ при зміні ковзання від -1 до 2 та номінальній напрузі мережі.

4. Провести дослід по встановленню залежності моменту втрат в системі машин $M5 - M6$ від швидкості $\omega = f(M_{втрат})$.

5. Зібрати схему для дослідження механічних та електромеханічних характеристик трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором.

6. Дослідити електромеханічні $\omega = f(I_1)$ та механічні $\omega = f(M)$ характеристики АД в генераторному і двигунному режимах роботи при різних опорах в колі ротора і з'єднанні обмотки статора за схемою «зірка» при напрузі мережі $U_m = 220V$.

7. Дослідити електромеханічну $\omega = f(I_1)$ та механічну $\omega = f(M)$ характеристики АД в режимі гальмування противмиканням при введенні усіх ступенів пускового реостату у коло ротора і з'єднанні обмотки статора за схемою «зірка» при напрузі мережі $U_m = 220V$.

8. Дослідити електромеханічну $\omega = f(I_1)$ та механічну $\omega = f(M)$ характеристики АД в режимі динамічного гальмування при збудженні статора змінним струмом за умови введення усіх ступенів пускового реостату у коло ротора і з'єднанні обмотки статора за схемою «зірка» при напрузі мережі $U_m = 220V$.

9. За експериментальними даними побудувати електромеханічні і механічні характеристики досліджуваного двигуна для різних режимів роботи з урахуванням моменту втрат навантажувальних машин.

10. Провести аналіз механічних характеристик, отриманих експериментальним та розрахунковим шляхом (при цьому врахувати, що експеримент проводиться при зниженій напрузі $\sim 220V$).

11. Оформити звіт по лабораторній роботі.

5 Технічна характеристика лабораторного устаткування

Таблиця 1 – Технічна характеристика лабораторного устаткування

Робоче місце №1							
М1		М2		М5		М6	
Тип	П-22	Тип	П-31	Тип	AK51/6	Тип	П-32
P_n , кВт	1,0	P_n , кВт	1,0	P_n , кВт	1,7	P_n , кВт	1,5
U_n , В	220	U_n , В	230	U_n , В	380/220	U_n , В	230
I_n , А	5,9	I_n , А	4,35	I_n , А	5/8,5	I_n , А	6,5
n_n , об/хв	1500	n_n , об/хв	1450	n_n , об/хв	905	n_n , об/хв	1450
η_n , %	77	η_n , %	70	η_n , %	72,5	η_n , %	71
Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е
m , кг	43,8	m , кг	53	$\cos\varphi_n$	0,7	m , кг	67,5
ГОСТ	183-55	ГОСТ	183-55	μ_k	2,7	ГОСТ	183-55
-	-	-	-	E_2 , В	57/33	-	-
-	-	-	-	X_1 , Ом	5,6	-	-
-	-	-	-	X_2' , Ом	3,7	-	-
-	-	-	-	m , кг	80	-	-
-	-	-	-	ГОСТ	183-55	-	-
Робоче місце №2							
М1		М2		М5		М6	
Тип	П-31	Тип	П-32	Тип	AK51/6	Тип	П-32
P_n , кВт	1,5	P_n , кВт	1,5	P_n , кВт	1,7	P_n , кВт	1,5
U_n , В	220	U_n , В	230	U_n , В	380/220	U_n , В	230
I_n , А	8,6	I_n , А	6,5	I_n , А	5/8,5	I_n , А	6,5
n_n , об/хв	1500	n_n , об/хв	1450	n_n , об/хв	905	n_n , об/хв	1450
η_n , %	79	η_n , %	71	η_n , %	72,5	η_n , %	71
Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е
m , кг	53	m , кг	62	$\cos\varphi_n$	0,7	m , кг	67,5
ГОСТ	183-55	ГОСТ	183-55	μ_k	2,7	ГОСТ	183-55
-	-	-	-	E_2 , В	57/33	-	-
-	-	-	-	X_1 , Ом	5,6	-	-
-	-	-	-	X_2' , Ом	3,7	-	-
-	-	-	-	m , кг	80	-	-
-	-	-	-	ГОСТ	183-55	-	-
Комплект вимірювальний К 505							
Клас точності вбудованих у комплект приборів – 0,5							
Час встановлення показів приборів комплекту – не більше 4 с							
Комплект пускових опорів, що вводиться у роторне коло $R_x = 4$ Ом							
Амперметр							
Вольтметр							

6 Вказівки щодо виконання роботи

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

2. Експериментально визначити омичний опір фази статора R_1 , ротора R_2 АД, опір пускового реостата R_x по ступенях. Привести ці опори до розрахункової робочої температури.

Вимірювання опорів можна проводити будь-яким з відомих способів, що забезпечать достатню точність вимірювання. Похибку не більше 2 % можливо забезпечити при вимірюванні опорів обмоток мостами, методом амперметра і вольтметра. Вимірювати опір обмоток електричних машин, особливо великої потужності, омметрами не рекомендується, оскільки вони дають значну похибку у 4 - 10 % . При вимірюванні опорів обмоток головних кіл двигунів потрібно користуватися подвійними мостами, які дають найбільшу точність у випадку малих опорів. Для вимірювання опорів незалежних і паралельних обмоток застосовують одинарні вимірювальні мости.

Для отримання високої точності і достовірності дослідних даних при визначенні опору необхідно провести щонайменше три виміри (методом амперметра-вольтметра при різних значеннях струму) і взяти середнє арифметичне значення опору

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (8)$$

де n - кількість дослідів.

Необхідно мати на увазі, що опори обмоток залежать від температури, тому потрібно фіксувати, при якій температурі виконані вимірювання або до якої температури приведено опір. Найточніші результати одержують при вимірюванні опорів обмоток машини в холодному стані. При цьому машина повинна знаходитися в приміщенні з постійною температурою протягом не менше 10 - 12 годин. За температуру машини приймають температуру повітря в даному приміщенні.

У випадку приведення опору обмоток до іншої температури для обмоток із міді користуються формулою

$$R_{t_2} = R \frac{235 + t_2}{235 + t_1}, \quad (9)$$

де R – середнє арифметичне значення опору обмотки при вимірюванні, Ом;

t_1 – температура при вимірюванні, °С;

t_2 – температура, до якої приведено опір, °С;

R_{t_2} – опір при температурі t_2 , Ом.

Для обмоток із алюмінію замість числа 235 у формулу підставляють 245.

За розрахункову робочу температуру електричних машин згідно ДСТУ ІЕС 60034-2:2015 «Машини електричні обертові. Частина 2. Методи визначання втрат і ККД обертових електричних машин за допомогою випробовувань» приймають 95 °С для обмоток класу нагрівостійкості В, 115 °С – для класу F, 135 °С – для класу Н. Для машин класів нагрівостійкості А та Е за розрахункову робочу температуру приймають 60 °С і 75 °С відповідно (згідно ГОСТ25941-83). Якщо ustalена робоча температура обмоток значно відрізняється від розрахункової, то потрібно брати опір при фактичній температурі обмоток.

Опір пускового реостата по ступенях R_{xi} визначити як середнє арифметичне по фазам

$$R_{xi} = \frac{\sum_{k=1}^m R_k}{m}, \quad (10)$$

де i – порядковий номер ступені пускового реостату;

k – порядковий номер досліду;

m – кількість фаз.

Експериментальні дані занести до таблиці 2.

Таблиця 2 – Експериментальні дані по визначенню омичного опору фази статора, ротора АД з фазним ротором типу _____ та опору пускового реостата по ступенях

$t_l = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R, \text{ Ом}$	$R_{t_2}, \text{ Ом}$
C_1-C_4					
C_2-C_5					
C_3-C_6					
P_1-P_4					
P_2-P_5					
P_3-P_6					
R_{x1}					
R_{x2}					
R_{x3}					
R_x					

3. Розрахувати та побудувати природну та штучну (при введенні в коло ротора усіх ступенів пускового реостата) механічні характеристики трифазного АД з фазним ротором $\omega = f(M)$ при зміні ковзання від -1 до 2 та номінальній напрузі мережі.

Механічну характеристику будують за характерними точками для двигунного і генераторного режиму роботи асинхронної машини з фазним ротором та формулою Клосса.

Характерними точками природної механічної характеристики є:

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

Синхронна кутова швидкість визначається за рівнянням

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}, \quad (11)$$

де f – частота мережі живлення, Гц;

p – число пар полюсів.

2. Точка номінального навантаження у двигунному режимі $S = S_n, \omega = \omega_n, M = M_n$.

Кутова номінальна швидкість визначається як

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30}, \quad (12)$$

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

Номінальний момент, що розвиває двигун

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (13)$$

де P_n – номінальна потужність електродвигуна, Вт.

Номінальне ковзання

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}. \quad (14)$$

3. Точки максимальних моментів у двигунному режимі $S = S_k, \omega = \omega_{k\delta}, M = M_{k\delta}$ та генераторному $S = -S_k, \omega = \omega_{k\epsilon}, M = -M_{k\epsilon}$.

Критичне ковзання у генераторному і двигунному режимі розраховується за (4).

Швидкість, за якої машина розвиває максимальний момент

$$\omega_k = \omega_0 (1 \mp |S_k|). \quad (15)$$

При розрахунках у (15) знак «-» для двигунного режиму, «+» - для генераторного.

Максимальний момент машини визначають за (5).

4. Точка пускового моменту (короткого замикання) $S = 1, \omega = 0, M = M_n$.

Пусковий момент двигуна

$$M_n = \frac{3U_\phi^2 R_2'}{\omega_0 \left[(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2 \right]}. \quad (16)$$

Момент, який розвиває машина при будь-якому навантаженні S_i , може бути визначений за рівнянням Клосса

$$M_i = \frac{M_{\kappa\delta} (1+q)}{\frac{S_i}{S_{\kappa}} + \frac{S_{\kappa}}{S_i} + q}, \quad (17)$$

де $q = \frac{2R_1}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$, в.о.

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

$$\omega_i = \omega_0 (1 - S_i). \quad (18)$$

Штучну механічну характеристику при введенні додаткового опору у коло ротора знаходять шляхом перерахунку ковзань за формулою

$$S_{ui} = S_{ni} \frac{R_2' + R_{2\delta}'}{R_2'} = S_{ni} \frac{K^2 R_2 + K^2 R_{2\delta}}{K^2 R_2} = S_{ni} \frac{K^2 (R_2 + R_{2\delta})}{K^2 R_2} = S_{ni} \frac{R_2 + R_{2\delta}}{R_2}, \quad (19)$$

де S_{ui}, S_{ni} – ковзання на штучній і природній механічній характеристиці, в.о.;
 $R_{2\delta}'$ – зведений до обмотки статора активний опір додаткового реостата, Ом;
 $R_2, R_{2\delta}$ – активний опір фази обмотки ротора та додаткового реостата, Ом;
 K – коефіцієнт трансформації електродвигуна, в.о.

Швидкість обертання АД при ковзанні S_{ui} можна визначити за виразом

$$\omega_{ui} = \omega_0 (1 - S_{ui}). \quad (20)$$

Результати розрахунків звести до таблиці 3 та в одній системі координат побудувати природну та штучну механічні характеристики асинхронного двигуна з фазним ротором.

Таблиця 3 – Результати розрахунку механічних характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором

Природна															
S_{ni} , в.о.	-1	-0,8	-0,5	$-S_{\kappa}$	-0,2	-0,1	0	S_n	0,2	S_{κ}	0,5	0,8	1	1,5	2
ω_{ni} , рад/с				$\omega_{\kappa\delta}$			ω_0	ω_n		$\omega_{\kappa\delta}$			0		
M_i , Нм				$-M_{\kappa\delta}$			0	M_n		$M_{\kappa\delta}$			M_n		
Штучна															
S_{ui} , в.о.							0								
ω_{ui} , рад/с							ω_0								

4. Схема електрична принципова експериментальної установки для зняття залежності моменту втрат від кутової швидкості в системі машин $M5 - M6$ $\omega = f(M_{втрат})$ представлена на рисунку 7.

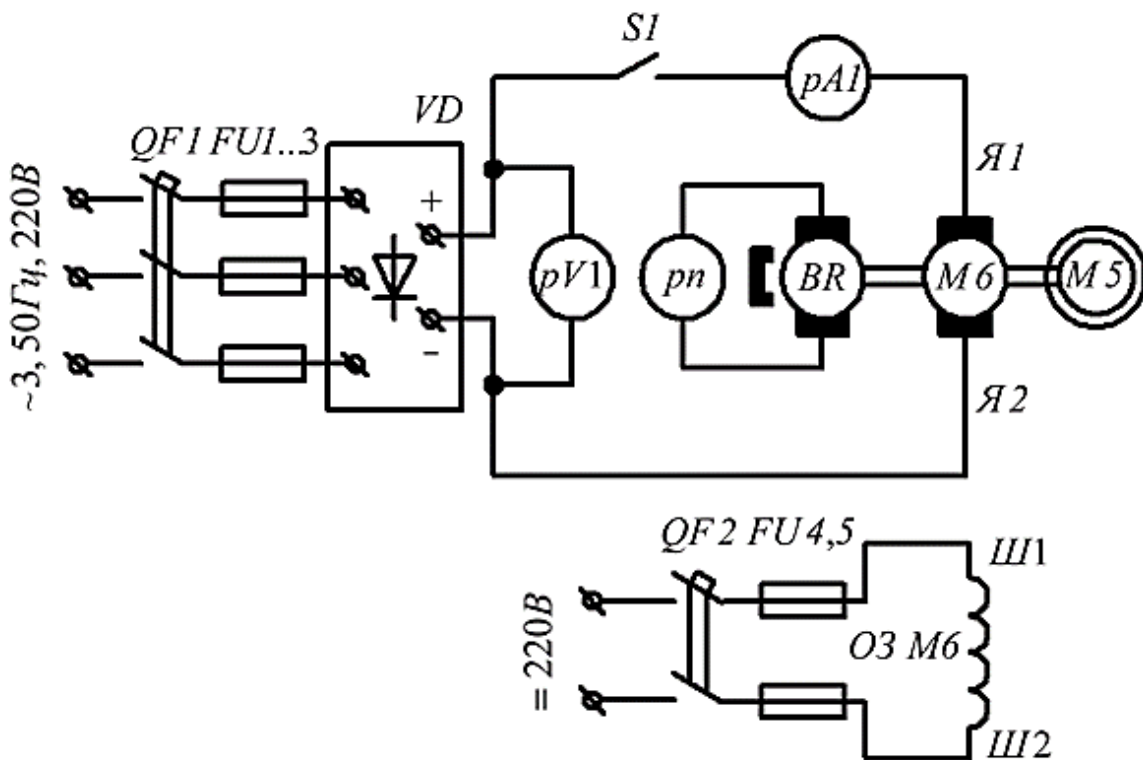


Рисунок 7 - Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження залежності моменту втрат в системі машин $M5 - M6$ від швидкості

Автоматичним вимикачем $QF2$ подати живлення на обмотку збудження машини $M6$. Автоматом $QF1$ подати живлення на регульований випрямляч напруги VD . Замкнути рубильник SI . Змінюючи напругу на якорі машини $M6$ від 0 до 240 В вимірюють струм якорного кола та швидкість обертання машин. Дані занести до таблиці 4.

Таблиця 4 – Дані досліду залежності моменту втрат від кутової швидкості в системі машин $M5 - M6$ $\omega = f(M_{втрат})$

$U_{я}, В$	40	80	120	160	200	240
$I_{я}, А$						
$n, об/хв$						
$\omega, рад/с$						
$M_{втрат}, Нм$						

Величину електромагнітного моменту, необхідного для обертання системи $M5 - M6$ на холостому ході визначаємо за рівнянням

$$M_{\text{втрати}} = k\Phi_n I_{\text{яМ6i}}, \quad (21)$$

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

$I_{\text{яМ6i}}$ – струм якоря машини $M6$.

$$k\Phi_n = \frac{U_n - I_n R_{\text{я}}}{\omega_n}, \quad (22)$$

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

$$R_{\text{я}} = 0,5(1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n}. \quad (23)$$

Зміна напрямку обертання системи машин $M5 - M6$ не впливає на величину втрат – графік залежності $\omega = f(M_{\text{втрати}})$ у III квадранті симетричний графіку у I квадранті відносно початку координат. Графік $\omega = f(M_{\text{втрати}})$ має розрив при зміні знаку кутової швидкості. Величина розриву чисельно дорівнює подвоєним втратам в агрегаті $M5 - M6$ при швидкості обертання рівній нулю.

5. Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження характеристик АД з фазним ротором представлена на рисунку 8.

Підготувати експериментальну установку до проведення дослідів наступним чином:

1) Зібрати і перевірити електричну схему рисунок 8.

2) Встановити всі апарати у виключений стан.

3) Подати напругу на обмотки збудження машин постійного струму автоматичним вимикачем $QF2$.

4) Встановити номінальний струм збудження машини $M1$ і близько 50-60% від номінального струму збудження машин $M2$ та $M6$ за допомогою реостатів у колах збудження машин постійного струму.

5) Запустити двигун $M1$. Для цього при повністю введеному пусковому реостаті $R\delta$ перевести перемикач $S2$ у положення «1». Після запуску двигуна повністю вивести пусковий реостат.

6) Автоматичним вимикачем $QF1$ подати живлення на двигун $M5$.

7) Регулюючи струм в обмотці збудження машини $M6$, домогтися такого положення, коли вольтметр $PV1$ показуватиме напругу рівну нулю. Якщо при збільшенні струму збудження машини $M6$ показання вольтметра $PV1$ збільшуються (дія ЕРС якорів машин $M2$ та $M6$ збігається за напрямком), необхідно виконати один із наступних заходів:

– змінити полярність напруги, що подається на обмотки збудження машини $M1$, або $M2$, або $M6$;

– змінити напрям обертання двигуна $M5$, для чого необхідно поміняти

6. Електро механічну $\omega = f(I_1)$ та механічну $\omega = f(M)$ характеристики асинхронного двигуна з фазним ротором в генераторному і двигунному режимах роботи дослідити при різних опорах в колі ротора і з'єднанні обмотки статора за схемою «зірка» при напрузі мережі $U_m = 220V$. Спочатку досліджують характеристики за умови короткозамкненого ротора, а потім при введенні у коло ротора додаткового опору R_x . Характеристики починають знімати з режиму генераторного гальмування і переходять до двигунного режиму. Перед замиканням рубильника $S1$ зафіксувати напрям відхилення стрілки амперметра та ватметра вимірювального комплексу К505 – двигунний режим. Замкнути рубильник $S1$. Збільшуючи струм в обмотці збудження машини $M2$ перевести двигун в генераторний режим. Перша точка характеристики знімається за максимальної швидкості обертання двигуна $M5$, що не має перевищувати більш ніж у 1,5 рази синхронну швидкість обертання АД. Поступово зменшуючи струм в обмотці збудження машини $M2$, знімають декілька точок характеристики в режимі генераторного гальмування до точки синхронної кутової швидкості ω_0 . Струм якоря в генераторному режимі записують зі знаком мінус. При переході з режиму генераторного гальмування обов'язково записується точка характеристики, що відповідає режиму ідеального холостого ходу і далі, плавно зменшуючи струм в обмотці збудження машини $M2$, двигун $M5$ перевести в двигунний режим, збільшуючи навантаження на валу. Експериментальні дані занести до таблиці 5. Після закінчення дослідження установку вимкнути і повернути у вихідне положення. Ввести у коло ротора додатковий опір R_x і повторити дослід.

Таблиця 5 - Результати експериментального дослідження механічних і електро механічних характеристик АД типу _____ у режимах двигуна та генераторного гальмування

Струм статора АД I_1, A	Частота обертання $n, об/хв$	Швидкість обертання $\omega, рад/с$	Електромагнітний момент машини M_6		Момент втрат $M_{втрат}, Н \cdot м$	Момент АД при U_m $M_{U_m}, Н \cdot м$	Момент АД при U_n $M_{U_n}, Н \cdot м$
			$I_{яM6}, A$	$M_{EM M6}, Н \cdot м$			
Додатковий опір у колі ротора АД $R_{2\partial} = 0 \text{ Ом}$							
Генераторне гальмування							

Продовження таблиці 5

Двигунний режим							
Додатковий опір у колі ротора АД $R_{2\delta} = R_x = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом							
Генераторне гальмування							
Двигунний режим							
Додаткові експериментальні дані							
Струм збудження машини М6 $I_{зб} = \underline{\hspace{2cm}}$ А, $I_{збн} = \underline{\hspace{2cm}}$ А;							
Напруга живлення статора АД $U_m = \underline{\hspace{2cm}}$ В.							

Електромагнітний момент навантажувальної машини М6

$$M_{EM M6i} = k\Phi_{\delta} I_{я M6i}, \quad (24)$$

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

$$k\Phi_{\delta} = \frac{I_{зб}}{I_{збн}} k\Phi_n. \quad (25)$$

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

Електромагнітний момент АД при нарузі мережі U_m визначається

– у двигунному режимі

$$M_{U_m} = |M_{EM M6}| + |M_{втрат}| \quad (26)$$

– у генераторному режимі

$$M_{U_M} = -|M_{EM M6}| + |M_{втрат}| \quad (27)$$

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

$$M_{i(U_M)} = k_U^2 M_{i(U_n)}, \quad (28)$$

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.

7. Для виконання досліду гальмування противмиканням необхідно виключити установку з мережі постійної та змінної напруги. Розімкнути рубильник *S1*. Змінити напрям обертання двигуна *M5* зміною порядку чергування будь-яких двох фаз напруги живлення. Ввести усі ступені пускового реостата у коло ротора. Запустити двигуни *M1* та *M5*. Встановити номінальний струм в обмотці збудження машини *M6* та мінімальний в обмотці збудження *M2*. Замкнути рубильник *S1*, при цьому швидкість двигуна сповільниться. Досліджуваний двигун буде працювати в двигунному режимі. Поступово збільшуючи струм в обмотці збудження машини *M2*, зменшити швидкість двигуна *M5* до нуля, а потім змінити напрям його обертання. Результати експерименту занести до таблиці 6. Після закінчення досліду установку вимкнути з мережі.

Таблиця 6 - Результати експериментального дослідження механічних і електромеханічних характеристик АД типу _____ у режимі гальмування противмиканням

Струм статора АД I_I, A	Частота обертання $n, об/хв$	Швидкість обертання $\omega, рад/с$	Електромагнітний момент машини <i>M6</i>		Момент втрат $M_{втрат}, Н \cdot м$	Момент АД при U_M , $M_{U_M}, Н \cdot м$	Момент АД при U_n , $M_{U_n}, Н \cdot м$
			$I_{яM6}, A$	$M_{EMM6}, Н \cdot м$			
Додаткові експериментальні дані							
Струм збудження машини <i>M6</i> $I_{збн} = \underline{\hspace{2cm}}$ А;							
Напруга живлення статора АД $U_M = \underline{\hspace{2cm}}$ В.							

Експериментальні дані досліду обробити за методикою викладеною у пункті 6. Електромагнітний момент АД при нарузі мережі U_m в режимі гальмування противмиканням визначається

$$M_{U_m} = -|M_{EM M6}| + |M_{втрат}| \quad (29)$$

8. Для дослідження електромеханічної $\omega = f(I_1)$ і механічної характеристики $\omega = f(M)$ асинхронного двигуна в режимі динамічного гальмування при збудженні статора змінним струмом зібрати схему рисунку 9. Схема з'єднання статорних обмоток АД – «трикутник» при нарузі мережі $U_m = 220V$. У коло ротора ввести додатковий активний опір $R_{2\delta} \cong 20R_2$.

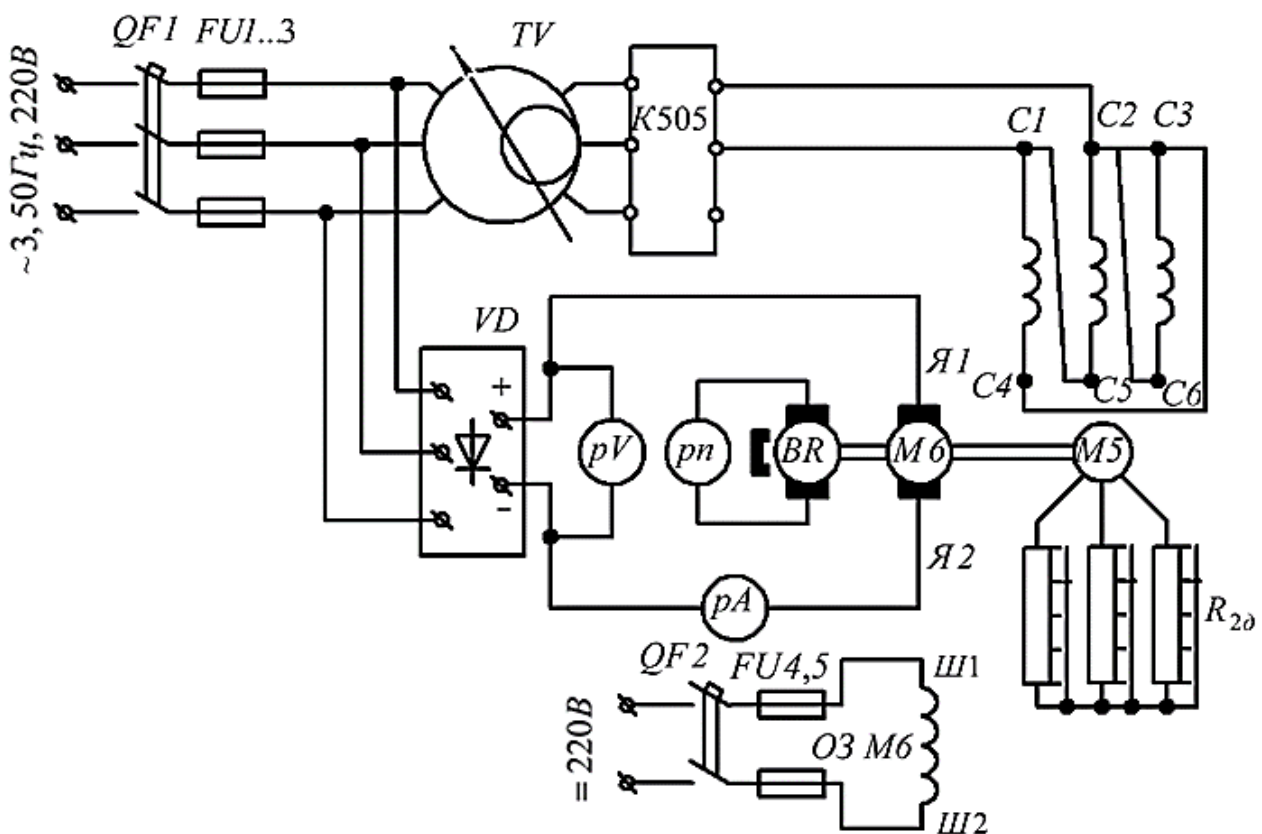


Рисунок 9 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження характеристик АД з фазним ротором в режимі динамічного гальмування при збудженні статора змінним струмом

Автоматичним вимикачем $QF2$ подати живлення на обмотку збудження машини $M6$. Ввімкнути автоматичний вимикач $QF1$. За допомогою індукційного регулятора TV встановити струм збудження АД у 2...3 рази більший за струм холостого ходу в трифазному режимі при номінальній нарузі. Ротор АД $M5$ обертають за допомогою ДПС $M6$ і досліджують залежність $\omega = f(M)$ при зміні кутової швидкості від 0 до ω_0 . Для чого регулятором VD

подають напругу на якор машини M_6 . Швидкість обертання регулювати зміною якорної напруги машини M_6 . Дані досліду занести до таблиці 7.

Таблиця 7 – Результати експериментального дослідження механічних характеристик АД у режимі динамічного гальмування

Частота обертання n , об/хв	Швидкість обертання ω , рад/с	Електромагнітний момент машини M_6		Момент втрат $M_{втрат}$, Н·м	Момент АД M_{M5} , Н·м
		$I_{яM6}$, А	$M_{EM M6}$, Н·м		
Струм збудження АД $I_{зб} = \text{-----} A$					

Електромагнітний момент двигуна M_6 визначають як

$$M_{EM M6i} = k\Phi_n I_{яM6i} \quad (30)$$

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

Електромагнітний момент АД при динамічному гальмуванні

$$M_{M5} = -|M_{EM M6}| + |M_{втрат}| \quad (31)$$

9. За експериментальними даними таблиць 4 - 7 побудувати електромеханічні і механічні характеристики досліджуваного двигуна для різних режимів роботи з урахуванням моменту втрат навантажувальних машин.

10. Порівняти результати розрахунку механічної характеристики за каталожними та експериментальними даними. Врахувати факт проведення досліду при зниженій напрузі мережі $U_m = 220V$.

7 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити:

1. Паспортні дані обладнання та приладів.
2. Результати розрахунку та графіки природної та штучної механічних характеристик досліджуваного двигуна, розраховані за каталожними даними.
3. Схеми електричні принципові експериментальних установок рисунки 7-9.
4. Результати розрахунку моменту втрат та механічних характеристик АД.
5. Графіки залежностей електромеханічних $\omega = f(I_1)$ та механічних $\omega = f(M)$ характеристик досліджуваного АД за різних режимів роботи, отримані експериментальним шляхом.
6. Аналіз отриманих результатів.

8 Контрольні питання

1. Дайте визначення електромеханічній характеристиці АД.
2. Що називають механічною характеристикою АД? Поняття природної і штучної характеристик?
3. Що таке критичне ковзання АД і від чого воно залежить?
4. Які висновки можна зробити при аналізі рівняння механічної характеристики АД у параметричній формі?
5. Як зміниться пусковий момент при введенні в коло ротора додаткового активного опору?
6. Які переваги має трифазний АД з фазним ротором в порівнянні з АД з короткозамкненим ротором?
7. Назвіть режими роботи АД?
8. Як зміниться максимальний момент і критичне ковзання АД при введенні додаткового активного опору у роторне коло?
9. Як зміниться максимальний момент і критичне ковзання АД при введенні додаткового реактивного опору у роторне коло?
10. Як впливає частота мережі на величину максимального моменту та критичного ковзання двигуна?
11. Які гальмівні режими роботи АД з фазним ротором Ви знаєте та як їх здійснити?
12. Режим роботи АД визначається величиною та знаком ковзання. Назвіть межі зміни ковзання та кутової швидкості ротора двигуна для всіх режимів роботи АД.
13. Як впливає величина опору ротора на величину пускового струму АД?

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. Лавриненко, 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 / Г.Н. Назарьян. – Мелитополь, Люкс, 2011. – 827 с., 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 ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ТА
МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО
ДВИГУНА З ФАЗНИМ РОТОРОМ

ЗВІТ

Студент _____ групи

П.І.Б.

(підпис)

Службові примітки

Роботу захищено з оцінкою _____

Викладач _____

П.І.Б.

(підпис)

Мелітополь, 20__ р.

