

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

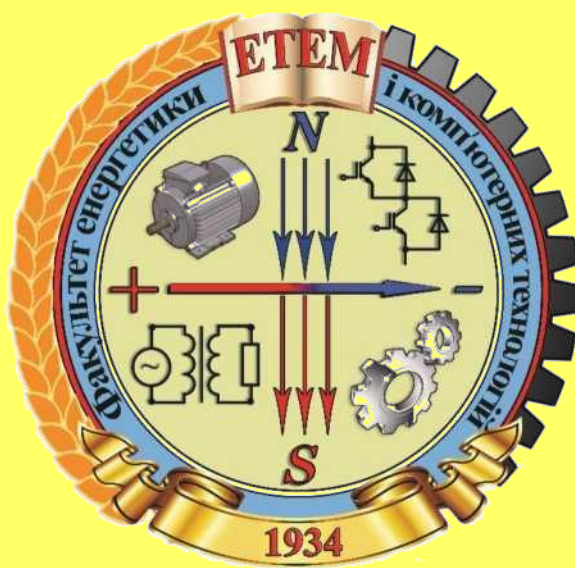
Кафедра «Електротехніка і електромеханіка
імені професора В.В. Овчарова»

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

**ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ
НЕЗАЛЕЖНОГО (ПАРАЛЕЛЬНОГО) ЗБУДЖЕННЯ
ЗМІНОЮ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА**

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 способів регулювання швидкості електроприводів з двигунами постійного струму незалежного (паралельного) збудження зміною параметрів двигуна» 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. – 25 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 СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО (ПАРАЛЕЛЬНОГО) ЗБУДЖЕННЯ ЗМІНОЮ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА	8
1 Мета роботи	8
2 Основні теоретичні відомості	8
3 Завдання самостійної роботи студента	16
4 Програма роботи.....	16
5 Технічна характеристика лабораторного устаткування	17
6 Вказівки щодо виконання роботи.	18
7 Вказівки щодо оформлення звіту.	22
8 Контрольні питання	23
9 Список літератури.	24
ДОДАТОК А Зразок оформлення титульного листа звіту з лабораторної роботи	25

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 комплексу 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 дослід.

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 ознайомитись 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 СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО (ПАРАЛЕЛЬНОГО) ЗБУДЖЕННЯ ЗМІНОЮ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА

1 Мета роботи: вивчити способи регулювання кутової швидкості електроприводів з двигунами постійного струму незалежного збудження; дослідити електромеханічні та механічні характеристики ДПС НЗ та характер зміни моменту, потужності і ККД за різних способів регулювання швидкості

2 Основні теоретичні відомості

Регулювання швидкості електропривода - це вимушена зміна швидкості за допомогою певного пристрою відповідно до вимог технологічного процесу незалежно від величини статичного моменту на валу двигуна. Швидкість обертання електродвигунів регулюють двома способами – параметричним і в замкнених системах. При параметричному регулюванні в розімкнених системах швидкість змінюють шляхом зміни параметрів електричного кола двигуна (опору, ємності, індуктивності) або напруги. Якість такого регулювання, як правило, невисока. З метою одержання процесу регулювання з високими якісними показниками застосовують замкнені системи електроприводів із зворотними зв'язками.

Сьогодні, незважаючи на те, що більшість електричних мереж забезпечують зміну напругу, електродвигуни постійного струму використовуються досить широко. Загалом, більшість промислових приводів, де потрібне точне регулювання швидкості обертання, реалізовані на базі ДПС. Також вони широко використовуються як в електричному транспорті (метро, тролейбус, трамваї, приміська залізниця), так і у підйомній техніці, металообробних станках та ін.

В загальному випадку рівняння електромеханічної характеристики ДПС НЗ описується рівнянням

$$\omega = \frac{U_{\text{я}} - I_{\text{я}}(R_{\text{я}} + R_{\text{д}})}{k\Phi}, \quad (1)$$

де $U_{\text{я}}$ - напруга живлення якірного кола, В;

$I_{\text{я}}$ - струм якірного кола, А;

$R_{\text{я}}$ - внутрішній опір двигуна, Ом;

$R_{\text{д}}$ - додатковий опір якірного кола, Ом;

k - конструктивна стала двигуна;

Φ - магнітний потік двигуна, Вб.

Згідно з (1), швидкість двигуна постійного струму можливо регулювати наступними трьома основними способами:

- включенням додаткового опору R_o у коло обмотки якоря;
- зміною величини магнітного потоку Φ ;
- зміною величини живлячої напруги $U_{я}$.

При цьому відзначимо, що регулювання швидкості двигуна зміною струму якоря $I_{я}$ неможливе, хоча на перший погляд це впливає із рівняння (1). В режимі навантаження двигун при кожній швидкості ω автоматично розвиває електромагнітний момент $M = k\Phi I_{я}$ рівний моменту опору на валу M_c , тому струм якоря при $\Phi = const$ матиме цілком визначене значення, аби у сталому режимі роботи приводу виконувалась умова $M = M_c$.

Регулювання кутової швидкості зміною величини живлячої напруги.

Двигуни постійного струму серії 2П виготовляються з незалежним збудженням, а серії 4П – з незалежним і паралельним. Для регулювання швидкості приводів зміною напруги на якорі використовують двигуни незалежного збудження.

Двигуни серії 4П допускають регулювання швидкості від номінальної до максимальної, зазначеної в каталожних даних, при номінальній напрузі на обмотці збудження зміною напруги на якорі тривалістю не більше 5 хв при номінальному струмі якоря і тривало – зі струмом якоря $0,8I_n$. При цьому для двигунів з номінальною напругою якірного кола 110, 220 і 440 В допустиме підвищення напруги на якорі дорівнює відповідно 220, 330 і 460 В.

З метою регулювання швидкості ДПС НЗ зміною напруги на якорі використовують перетворювачі, що мають на виході регульовану постійну напругу. В сучасних приводах найчастіше використовують статичні перетворювачі трифазної напруги в регульовану постійну, побудовані на силових тиристорах або транзисторах. Рідше використовують машинні перетворювачі з використанням генератора постійного струму. Ці системи скорочено називають «керований вентиль-двигун» або «генератор-двигун».

Тиристорний перетворювач напруги дає можливість регулювати швидкість обертання ДПС НЗ з коефіцієнтом плавності близьким до 1. При цьому діапазон регулювання невеликий – 8...10, що пояснюється збільшенням опору якірного кола (еквівалентний опір регулятора напруги і за наявності опір реактора) і відповідно зменшенням жорсткості характеристик. Тиристорний привод має досить високий ККД – 0,85...0,9.

При живленні ДПС НЗ по системі КВ-Д є можливість реверсування електродвигуна за наявності реверсивного ТПН. Гальмівні режими роботи ДПС НЗ, якірне коло якого живиться від тиристорного перетворювача напруги, можуть мати місце лише при активному статичному моменті опору.

До недоліків слід віднести: пульсуючий характер напруги і струму в якірному колі, що призводить до появи переривчастого режиму роботи двигуна, що погіршує роботу привода в замкнутій системі із зворотним зв'язком по струму. Пульсуючий характер напруги і струму в якірному колі двигуна зумовлює використання реактора в якірному колі. При збільшенні діапазону регулювання тиристорного електропривода знижується коефіцієнт корисної дії і

коефіцієнт потужності установки. Тиристорні приводи спотворюють форму напруги і струму джерела живлення. ТПН мають невисоку перевантажувальну здатність по струму і напрузі, що в окремих випадках обмежує їх використання. Незважаючи на недоліки привода з ТПН, на сьогодні він найбільше задовольняє вимоги технологічного процесу в промисловості і окремих установках у сільському господарстві.

Для регулювання швидкості обертання двигуна в системі «генератор-двигун» необхідно мати мережу змінної і постійної напруги. Живлення ДПС від системи Г-Д дає можливість одержати сімейство електромеханічних і механічних характеристик, які мають менший модуль жорсткості, ніж природна характеристика. Якщо двигун і генератор приблизно однакової потужності, то має місце співвідношення $R_{яд} \approx R_{яг}$, при цьому модуль жорсткості характеристик приблизно у 2 рази менший, ніж у двигуна, що працює від мережі. Зниження модуля жорсткості знижує діапазон регулювання швидкості в системі Г-Д до 5...8. Система Г-Д дає можливість реверсувати двигун і забезпечує роботу машини в усіх гальмівних режимах як з активним, так і реактивним моментом опору. При цьому характер регулювання – плавний і схема керування системою досить проста.

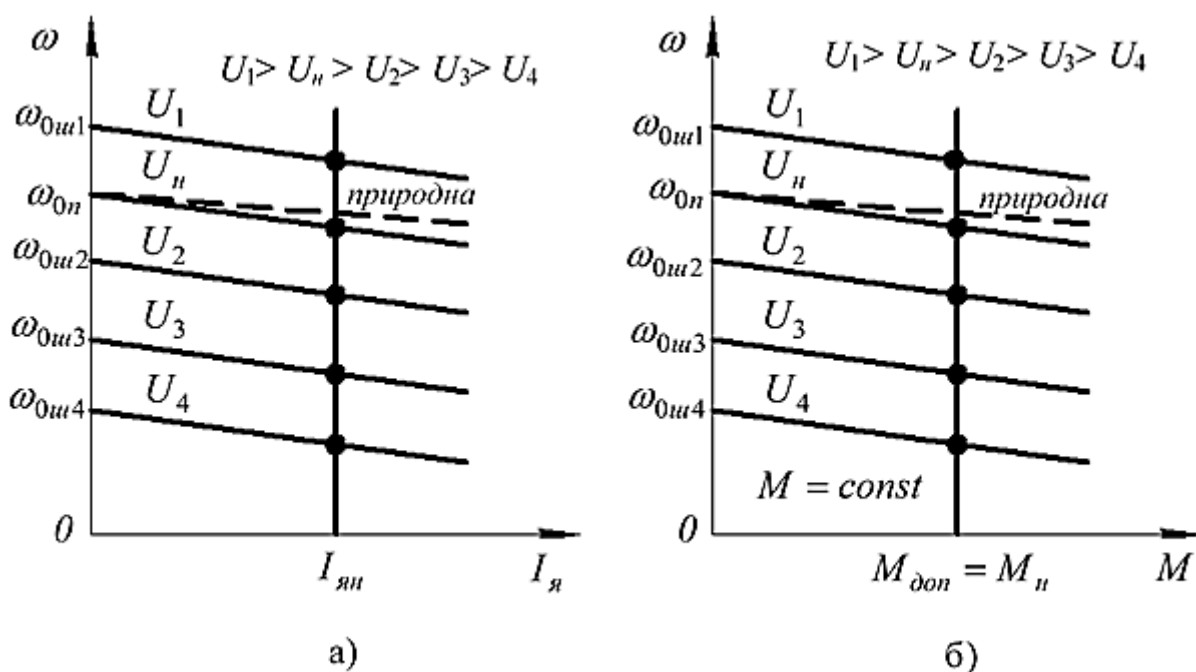


Рисунок 1 – Електромеханічні (а) і механічні (б) характеристики ДПС НЗ при регулюванні швидкості зміною напруги якоря

До недоліків системи Г-Д необхідно віднести, насамперед, збільшення кількості електричних машин до трьох (асинхронний двигун, генератор і двигун постійного струму). При цьому установлена потужність системи становить дещо більше трикратної потужності двигуна. Система має низький ККД, особливо на

пониженій швидкості обертання.

В процесі регулювання швидкості допустимим навантаженням вважається таке, при якому в тривалому режимі струм в якірному колі не перевищує номінальні значення $I_{дон} = I_{ян.}$, що сприяє підтриманню температурного режиму двигуна в межах допустимих значень. Регулювання швидкості обертання ДПС НЗ зміною напруги на якорі здійснюється за умови сталого номінального магнітного потоку $\Phi = \Phi_n$, тому допустиме навантаження на валу машини залишається незмінним $M_{дон} = M_n = k\Phi_n I_{ян.}$. При цьому потужність на валу машини буде змінюватись прямопропорційно швидкості $P_2 = M_{дон}\omega$. Тому регулювання напруги на якорі ДПС НЗ забезпечує роботу привода при незмінному статичному моменті.

Регулювання швидкості ДПС НЗ зміною напруги якоря, як правило, здійснюється вниз від основної, але можливе регулювання з підвищенням швидкості за умови не перевищення допустимих значень напруги якоря і навантаження двигуна. Аналіз рівняння (1) показує, що при зміні напруги на якорі, кутова швидкість двигуна змінюється пропорційно значенням живлячої напруги. Електромеханічні (механічні) характеристики паралельні між собою, їх жорсткість не змінюється, оскільки опір якірного кола незмінний.

Основні показники регулювання швидкості електроприводів з ДПС НЗ при зміні величини напруги якоря наступні:

1. Діапазон регулювання – у системі КВ-Д 8:1...10:1, у системі Г-Д 5:1...8:1;
2. Характер регулювання – плавний;
3. Напрямок регулювання – як в меншу, так і в більшу сторону від основної;
4. Стабільність роботи постійна – характеристики не змінюють жорсткість, тому забезпечується стійка робота двигуна за будь-якої швидкості в робочому діапазоні зміни навантаження;
5. Допустиме навантаження двигуна: залишається незмінним, спосіб забезпечує раціональний режим роботи машин з механічною характеристикою незалежною від швидкості;
6. Спосіб економічний – двигуни зберігають своє значення ККД; потрібне джерело постійного струму з регульованою напругою.

Регулювання кутової швидкості зміною опору якірного кола.

Даний метод регулювання часто називають реостатним, оскільки в силове коло включаються резистори (реостати), спроможні пропускати великі струми. На відміну від пускових і гальмівних резисторів, які вибирають по струму для короткочасного режиму, резистори для регулювання швидкості обертання можуть працювати в тривалому режимі. Отже, при їх виборі залежно від струму враховують фактичний режим роботи. Опір регульовального резистора може змінюватись плавно або ступінчасто і як наслідок швидкість регулюється плавно або дискретно.

Аналіз рівняння (1) показує, що зміна опору якірного кола не впливає на

швидкість ідеального холостого ходу, а природна і штучні характеристики виходять з однієї точки (рисунок 2). Вочевидь, що даний спосіб дозволяє лише зменшувати кутову швидкість обертання порівняно зі швидкістю на природній характеристиці аж до зупинки двигуна. Однак із введенням додаткового опору у якірне коло жорсткість характеристик суттєво знижується і як наслідок незначні зміни моменту опору на валу машини призводять до значних коливань швидкості, що в окремих випадках може спричинити зупинку двигуна. Невелика жорсткість штучних реостатних механічних характеристик обмежує діапазон регулювання до 3:1. Слід відзначити, що при зниженні струму (моменту) двигуна регулювання стає малоефективним.

При незмінному струмі обмотки збудження і постійній тепловіддачі двигуна допустиме навантаження на валу машини залишається незмінним $M_{дон} = M_n = k\Phi_n I_{ян}$, а механічна потужність на валу двигуна буде знижуватись прямопропорційно швидкості $P_2 = M_{дон}\omega$ - тобто регулювання здійснюється при $M = const$. Спосіб забезпечує раціональний режим роботи машин з механічною характеристикою незалежною від швидкості.

Реостатне регулювання швидкості дає можливість створювати режим роботи двигуна у будь-якому з чотирьох квадрантів. Крім того, зона гальмування противмиканням і динамічного гальмування порівняно із системами КВ-Д, Г-Д значно більша. При активному моменті опору згадані гальмівні режими формуються в четвертому квадранті, а при реактивному – у другому.

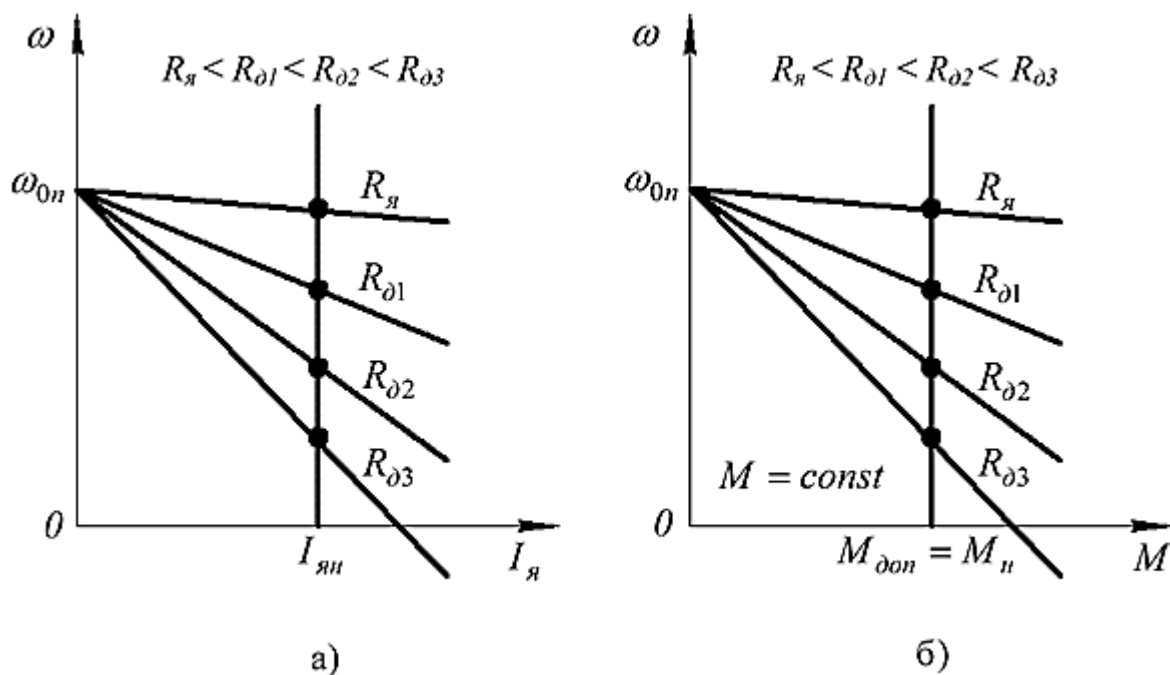


Рисунок 2 – Електромеханічні (а) і механічні (б) характеристики ДПС НЗ при введенні додаткового опору у якірне коло

Реостатне регулювання швидкості ДПС НЗ характеризується низьким ККД. Повна потужність, що споживає двигун з електричної мережі при $M_c = const$ визначається залежністю

$$P_1 = U_{я} I_{я} = \omega_0 M. \quad (2)$$

де ω_0 - швидкість ідеального холостого ходу, рад/с;

M - електромагнітний момент, що розвиває двигун, Н·м.

Механічна потужність дорівнює

$$P_2 = \omega M. \quad (3)$$

де ω - поточне значення швидкості обертання двигуна, рад/с.

Коефіцієнт корисної дії характеризується відношенням

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega M}{\omega_0 M} = \omega^*. \quad (4)$$

У зв'язку із значними втратами енергії при реостатному регулюванні швидкості ДПС НЗ його використовують в короткочасних режимах та в установках з малим діапазоном регулювання. Перевагами даного способу регулювання є простота і незначні капітальні вкладення на обладнання.

Основні показники регулювання швидкості електроприводів з ДПС НЗ при реостатному способі регулювання швидкості наступні:

1. Діапазон регулювання – не перевищує 3:1;
2. Характер регулювання – як правило, ступінчастий і лише при регулюванні швидкості двигунів малої потужності використовуються реостати, що забезпечують плавне регулювання швидкості;
3. Напрямок регулювання – вниз від основної швидкості;
4. Стабільність роботи – зі зменшенням швидкості знижується: при низькій частоті обертання можливі коливання швидкості при нестабільному навантаженні і нестійка робота приводу аж до зупинки двигуна;
5. Допустиме навантаження двигуна: залишається незмінним, спосіб забезпечує раціональний режим роботи машин з механічною характеристикою незалежною від швидкості;
6. Спосіб неекономічний як наслідок виникнення додаткових електричних втрат у реостаті; потрібен спеціальний регулювальний реостат чи регулювальний опір, що допускає тривалу роботу при робочих струмах. Подібне обладнання для регулювання швидкості двигунів середньої і великої потужності має порівняно великі габарити і вартість.

Регулювання кутової швидкості зміною величини магнітного потоку.

Двигуни постійного струму серії 2П і 4П допускають регулювання кутової швидкості зниженням струму збудження (магнітного потоку). Ці серії двигунів мають незалежне збудження, що дозволяє регулювати швидкість вверх від номінального значення. Основною ознакою цих двигунів є каталожне значення

максимальної швидкості. Якщо двигуни призначені для регулювання швидкості лише вниз від номінального значення, як двигуни серії П, то в каталожних даних наводять лише номінальні частоти обертання і суттєво підвищувати їх швидкість обертання небажано.

Відношення максимальної частоти обертання до номінальної різне для кожного типу двигуна і номінальної напруги. Так, для двигунів типорозміру 4ПФ112 з номінальними потужностями 4; 3,15; 2 кВт на номінальну напругу 220 В номінальна частота обертання відповідно становить 900; 750 і 450 об/хв, а максимальна для всіх трьох двигунів – 5000 об/хв. Отже, не існує єдиного значення кратності підвищення частоти обертання відносно номінальної. При збільшенні номінальної частоти обертання двигуна, як правило, згадана кратність зменшується. Так, для двигуна типорозміру 4ПБ100S2 номінальною потужністю 1,5 кВт і номінальною частотою обертання 3000 об/хв максимальна частота обертання становить 4000 об/хв.

Регулювання швидкості ДПС НЗ зменшенням магнітного потоку характеризується порівняно невеликою потужністю в колі регулювання – обмотці збудження.

Для ДПС НЗ струм обмотки збудження становить 5-10% номінального струму машини. В розімкнених системах з двигунами невеликої потужності струм обмотки збудження можна регулювати повзунковим реостатом, що дає можливість забезпечити високу плавність регулювання. У приводах середньої і великої потужності для живлення обмотки збудження використовують статичні перетворювачі трифазної змінної напруги в регульовану постійну напругу. При цьому перетворювач може мати окремо регульовану постійну напругу для якорного кола і окремо для кола збудження – двозонний регулятор.

З аналізу рівняння (1) видно, що швидкість ідеального холостого ходу із зменшенням збудження збільшується. Оскільки струм двигуна при нерухомому якорі не залежить від величини магнітного потоку, то природна і штучні характеристики перетинають вісь абсцис в точці струму короткого замикання

$$I_{\text{я}} = I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\text{н}}}{R_{\text{я}}}. \text{ Механічні характеристики при ослабленні магнітного потоку не}$$

мають спільної точки на осі моментів, оскільки кожному значенню магнітного потоку відповідає певне значення моменту короткого замикання – початкового пускового моменту $M_{\text{к.з.і}} = k\Phi_i I_{\text{к.з.}}$. Загальний вигляд характеристик представлено на рисунку 3.

Штучні механічні характеристики не зберігають жорсткості і, як наслідок, погіршується стабільність регулювання швидкості обертання. Діапазон регулювання двигунів серії 4П різних типорозмірів становить 3...8, а серії 2П – 2...4. Діапазон регулювання швидкості двигунів загального призначення – 1,1...2. Максимальна швидкість обертання обмежується механічною міцністю ротора та погіршенням комутації на колекторі. Мінімальна швидкість при зміні магнітного потоку має місце при номінальному струмі збудження.

Регулювання швидкості обертання ДПС НЗ зміною магнітного потоку здійснюється за умови $U_{я} = U_{н}, I_{я} = I_{дон} = I_{ян}$, тому допустиме навантаження на валу машини для запобігання її перевантаження має бути знижене до $M_{дон} = k\Phi_i I_{н.}$ При цьому потужність на валу машини залишається незмінною

$$P_2 = M_{дон} \omega = k\Phi_i I_{н.} \cdot \frac{U_{н} - I_{н} R_{я}}{k\Phi_i} = I_{н} (U_{н} - I_{н} R_{я}) = P_1 - \Delta P_{ел} = const. \quad \text{Тому}$$

даний спосіб регулювання відноситься до регулювання з постійною потужністю. Регулювання швидкості обертання зменшенням магнітного потоку найкраще використовувати в приводах робочих машин, статичний момент яких зворотно-пропорційний швидкості обертання.

Економічні показники регульованого електропривода ослабленням магнітного потоку порівняно високі. В якірному колі додаткові втрати електроенергії відсутні. Втрати в регулюючому резисторі в обмотці збудження незначні. Цей спосіб регулювання швидкості обертання може використовуватись комбіновано з іншими способами регулювання швидкості.

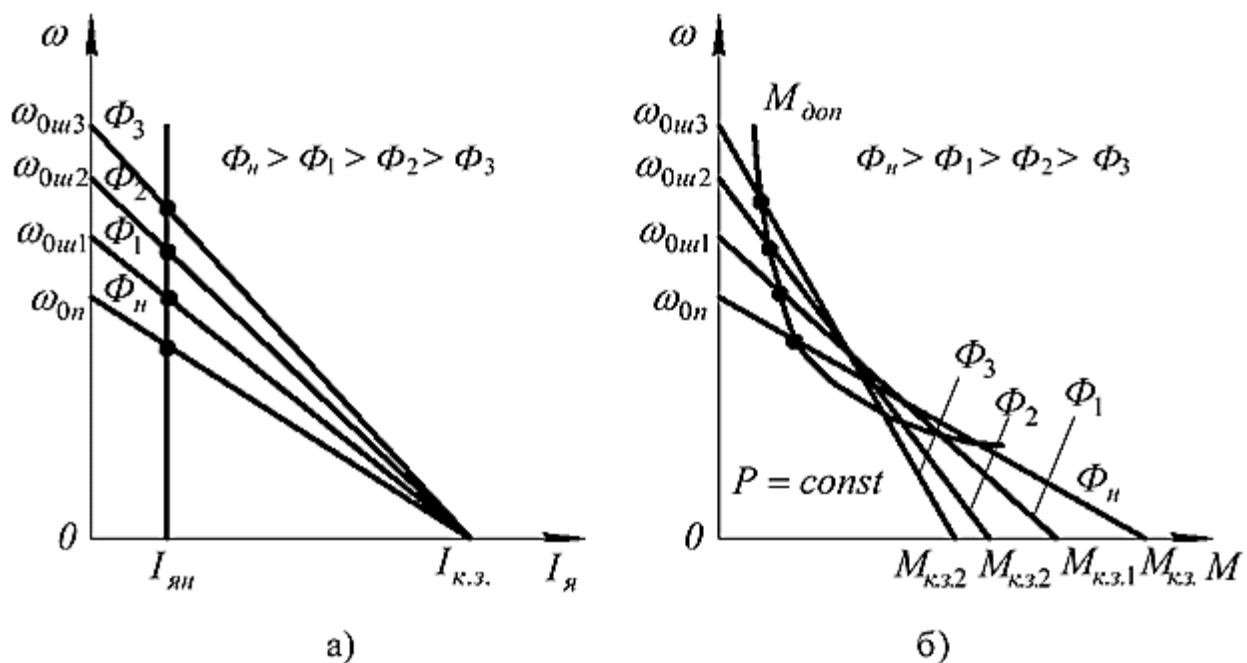


Рисунок 3 – Електромеханічні (а) і механічні (б) характеристики ДПС НЗ при регулюванні швидкості зміною магнітного потоку

Основні показники регулювання швидкості електроприводів з ДПС НЗ при ослабленні магнітного потоку наступні:

1. Діапазон регулювання – для двигунів загального призначення (серії П) - 1,1:1...2:1, двигунів спеціального призначення - 2:1...8:1;
2. Характер регулювання – плавний;
3. Напрямок регулювання – тільки вище від основної;

4. Стабільність роботи – характеристики знижують жорсткість, проте забезпечується стійка робота двигуна при швидкостях в межах допустимої;

5. Допустиме навантаження двигуна: зменшується з ростом швидкості, спосіб забезпечує раціональний режим роботи машин, статичний момент яких зворотно-пропорційний швидкості обертання;

6. Спосіб економічний – регулювання швидкості здійснюється при високому значенні ККД двигуна; для регулювання швидкості ослабленням потоку використовується порівняно просте обладнання невисокої вартості. Значення моменту двигуна при основній швидкості визначає його габарити та вартість. Тому з двох двигунів однакової потужності та максимальної кутової швидкості регульований двигун буде мати тим більші розміри, чим ширше діапазон регулювання.

Для машин з прямолінійно-зростаючою ($x = 1$) та вентиляторною ($x = 2$) характеристиками в розімкнених системах регульованих приводів постійного струму незалежного збудження неможливо забезпечити раціональний режим роботи зміною параметрів ні якірного кола, ні кола збудження. Допустиме навантаження на двигун повинно прийматись при можливому максимальному значенні швидкості обертання. При нижчих швидкостях обертання двигун буде не завантажений.

3 Завдання самостійної роботи студента

1. Опрацювати матеріали по рекомендованій літературі [1 тема 4, лекція «Регулювання швидкості обертання ДПС НЗ»; 2 с. 157-182, 3 с. 262-268]. Вивчити способи і показники регулювання швидкості обертання двигунів постійного струму незалежного збудження, теоретично дослідити електромеханічні і механічні характеристики машини при зміні опору якірного кола, магнітного потоку і напруги живлення.

2. Виконати навчально - контролюючі завдання до даної лабораторної роботи на НІП ТДАТУ (кількість правильних відповідей має бути не менше 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 природну і штучні електромеханічні характеристики $\omega = f(I_a)$ ДПС НЗ при введенні в коло якоря додаткового опору R_d ; при зміні магнітного потоку $\Phi = 0,5\Phi_n$; при напрузі живлення якірного кола $U_a = 0,3U_{ян}$.

3. Зібрати схему для дослідження механічних та електромеханічних характеристик ДПС НЗ при регулюванні швидкості обертання.

4. Зняти експериментальні дані для побудови електромеханічних $\omega = f(I_{\text{я}})$ та механічних $\omega = f(M)$ характеристик ДПС НЗ:

- при регулюванні швидкості зміною опору якірного кола: $R_{\text{я}}$, $R_{\text{я}} + 0,25R_{\text{д}}$, $R_{\text{я}} + 0,5R_{\text{д}}$, $R_{\text{я}} + 0,75R_{\text{д}}$, $R_{\text{я}} + R_{\text{д}}$;
- при регулюванні швидкості зміною величини магнітного потоку (зміною струму в обмотці збудження): $I_{\text{збн}}$, $0,8I_{\text{збн}}$, $0,6I_{\text{збн}}$, $0,5I_{\text{збн}}$;
- при регулюванні швидкості зміною напруги живлення якірного кола: $U_{\text{ян}}$, $0,75U_{\text{ян}}$, $0,5U_{\text{ян}}$, $0,3U_{\text{ян}}$.

5. Побудувати в одній системі координат графіки електромеханічних і механічних характеристик ДПС НЗ отримані розрахунковим та експериментальним шляхом.

6. Розрахувати та побудувати залежності $P_2 = \varphi(\omega)$, $M_{\text{дон}} = \varphi(\omega)$, $\eta = \varphi(\omega)$ за різних способів регулювання швидкості ДПС НЗ.

7. Оформити звіт по лабораторній роботі.

5 Технічна характеристика лабораторного устаткування

Таблиця 1 – Технічна характеристика лабораторного устаткування

Позиційне позначення	Тип	$P_{\text{н}}$, кВт	$U_{\text{н}}$, В	$I_{\text{н}}$, А	$\eta_{\text{н}}$, в.о.	$P_{\text{н}}$, об/хв	$P_{\text{макс}}$, об/хв	m , кг	ГОСТ
Робоче місце 1									
M1	П-22	1	220	5,9	0,77	1500	3000	43,8	183-55
G1	П-31	1	230	4,35	0,70	1450	3000	53	183-55
Робоче місце 2									
M1	П-31	1,5	220	8,6	0,79	1500	3000	53	183-55
G1	П-32	1,5	230	6,5	0,71	1450	3000	62	183-55
Трифазний керований випрямляч напруги									
Номінальна вхідна напруга – 220 В									
Номінальна вхідна частота – 50 Гц									
Вхідна потужність – 2,5 кВА									
Номінальний вихідний струм – 10 А									
Номінальна вихідна напруга – 220 В постійного струму									
Діапазон регулювання вихідної напруги – 1-240 В постійного струму, 0-220 В змінного однофазного струму									
Навантажувальний реостат $R_{\text{нав}} = 16 \text{ Ом}$									
Регулювальний реостат $R_{\text{д}} = 16 \text{ Ом}$									
Амперметр									
Амперметр									
Вольтметр									
Тахогенератор									

6 Вказівки щодо виконання роботи

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

2. Розрахувати та побудувати електромеханічні характеристики досліджуваного двигуна по каталожним даним: природну; при введенні в коло якоря додаткового опору R_{∂} ; при зміні магнітного потоку $\Phi = 0,5\Phi_n$; при напрузі живлення якірної кола $U_{я} = 0,3 U_{ян}$.

Розрахунок електромеханічних характеристик ДПС НЗ проводять за рівнянням (1). Для двигунів постійного струму незалежного збудження величина магнітного потоку не залежить від навантаження машини, тому зовнішній вигляд електромеханічних характеристик – пряма, яку можна побудувати за двома із трьох точок, координати яких найлегше визначити. Координати точок відповідають:

– режиму ідеального холостого ходу

$$\omega_{0i} = \frac{U_{я}}{k\Phi}, \quad I_{я} = 0. \quad (5)$$

– режиму номінального навантаження

$$\omega_{ni} = \frac{U_{я} - I_{ян}(R_{\partial в} + R_{\partial})}{k\Phi}, \quad I_{я} = I_{ян}. \quad (6)$$

– режиму короткого замикання

$$\omega = 0, \quad I_{я} = I_{к.з.і} = \frac{U_{я}}{(R_{\partial в} + R_{\partial})}. \quad (7)$$

На практиці найчастіше користуються координатами перших двох точок. Внутрішній опір двигуна визначають як

$$R_{я} = 0,5(1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n}, \quad (8)$$

де η_n - номінальний ККД, в.о.

Параметр $k\Phi$ залежить лише від величини магнітного потоку і якщо вважати, що магнітна система машин постійного струму насичена, то з достатньою для розрахунків точністю $k\Phi$ можна розрахувати як

$$k\Phi = \frac{I_{зб}}{I_{збн}} k\Phi_n, \quad (9)$$

де Φ_n – номінальний магнітний потік ДПС, Вб.

$$k\Phi_n = \frac{U_n - I_n R_{\partial\delta}}{\omega_n}, \quad (10)$$

де ω_n – номінальна кутова швидкість ДПС, рад/с.

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30}, \quad (11)$$

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

За результатами розрахунків в одній системі координат побудувати природну та штучні електромеханічні характеристики дослідного двигуна.

3. Зібрати схему електричну принципову експериментальної установки для дослідження електромеханічних та механічних характеристик ДПС НЗ при регулюванні швидкості обертання, що представлена на рисунку 4.

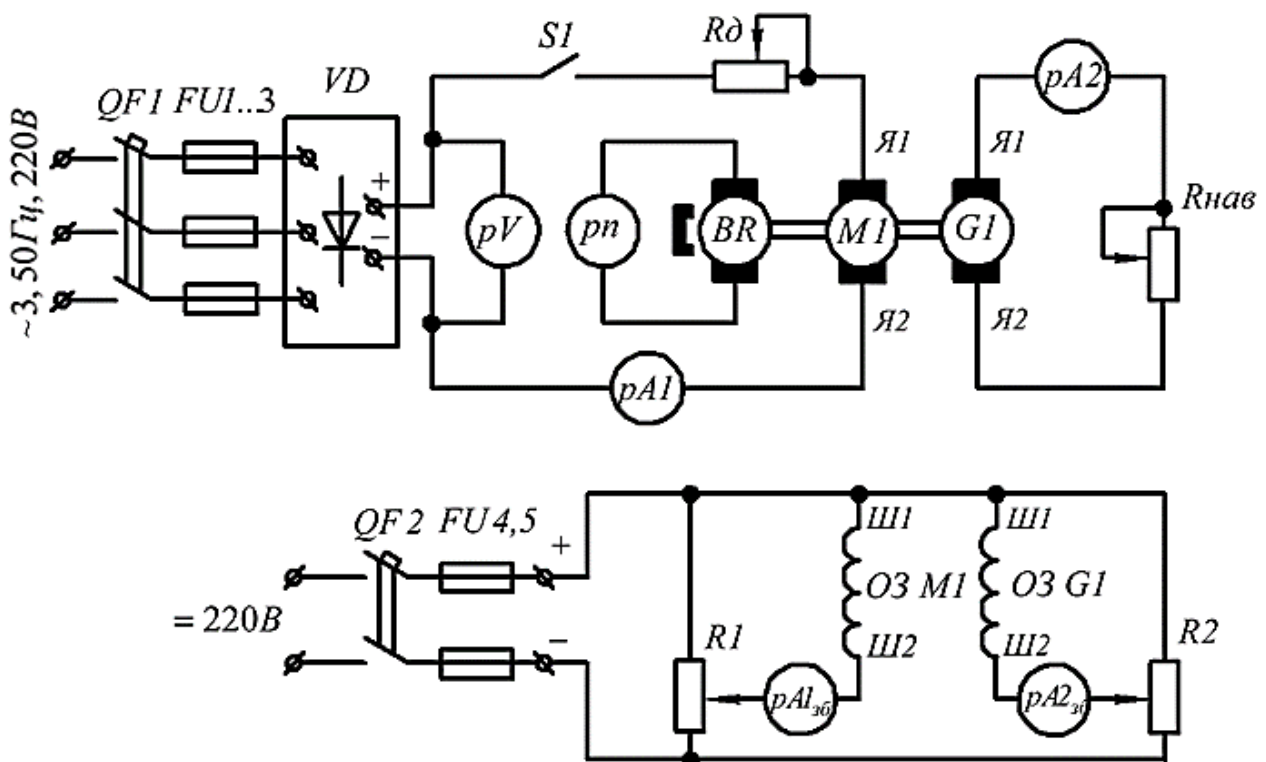


Рисунок 4 - Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження способів регулювання швидкості ДПС НЗ

4. Зняти експериментальні дані для побудови електромеханічних $\omega = f(I_a)$ та механічних $\omega = f(M)$ характеристик ДПС НЗ. Досліди проводять наступним чином. Автоматом QF2 подати напругу на обмотки збудження машин постійного струму M1 і G1, при цьому реостат R1 в колі обмотки

збудження машини $M1$ має бути повністю виведеним, а $R2$ в колі обмотки збудження генератора введеним. Автоматичним вимикачем $QF1$ подати живлення на трифазний керований випрямляч напруги VD . На виході випрямляча встановити напругу рівну номінальному значенню напруги досліджуваного двигуна $M1$ та при повністю введеному регульовальному (пусковому) опорі $R\delta$ замкнути перемикач $S1$ і тим самим підключити до мережі живлення ДПС НЗ $M1$. Після розгону двигуна пусковий опір повністю вивести. Встановити досліджуваному двигуну номінальне навантаження шляхом зміни струму збудження генератора $G1$ за допомогою реостата $R2$ та зміною опору навантаження $R_{нав}$.

Провести дослід регулювання швидкості ДПС НЗ введенням додаткового опору у коло якоря. Під час проведення дослідів напруга і струм збудження досліджуваного двигуна залишаються незмінними і повинні мати номінальні значення $U_{я} = U_{ян}, I_{зб} = I_{збн}$, струм навантаження ДПС НЗ підтримувати сталим. Опір регульовального реостату в колі якоря змінювати в межах $0; 0,25R_{\delta}; 0,5R_{\delta}; 0,75R_{\delta}; R_{\delta}$. Дані дослідів занести до таблиці 2.

Таблиця 2 - Результати експериментального дослідження регулювання швидкості ДПС НЗ введенням додаткового опору у коло якоря

Умови проведення дослідів	Додатковий опір R_{δ} , Ом	Швидкість обертання n , об/хв	Кутова швидкість обертання ω , рад/с	Потужність на валу P_2 , Вт	Момент двигуна M , Нм	ККД двигуна η , в.о.
$U_{я} = U_{ян} = \text{--- В};$ $I_{зб} = I_{збн} = \text{--- А};$ $I_{я} = I_{ян} = \text{--- А};$ $R_{\delta} = \text{var.}$	0					

Провести дослід регулювання швидкості ДПС НЗ зміною величини магнітного потоку (зміною струму збудження). Під час проведення дослідів напруга досліджуваного двигуна залишається незмінною і рівною номінальному значенню $U_{я} = U_{ян}$, додатковий опір у колі якоря має бути повністю виведеним $R_{\delta} = 0$, струм навантаження ДПС НЗ підтримувати сталим. Струм в обмотці збудження двигуна $M1$ змінювати в межах $I_{збн}, 0,8I_{збн}, 0,6I_{збн}, 0,5I_{збн}$. Дані дослідів занести до таблиці 3.

Провести дослід регулювання швидкості ДПС НЗ зміною напруги живлення якірного кола. Під час проведення дослідів струм збудження

досліджуваного двигуна залишається незмінним і рівним номінальному значенню $I_{зб} = I_{збн}$, додатковий опір у колі якоря має бути повністю виведеним $R_0 = 0$, струм навантаження ДПС НЗ підтримувати сталим. Напругу якоря змінювати в межах $U_{ян}$, $0,75U_{ян}$, $0,5U_{ян}$, $0,3U_{ян}$. Дані досліду занести до таблиці 4.

Таблиця 3 - Результати експериментального дослідження регулювання швидкості ДПС НЗ зміною величини магнітного потоку

Умови проведення досліду	Струм збудження $I_{зб}$, А	Швидкість обертання n , об/хв	Кутова швидкість обертання, ω рад/с	Потужність на валу P_2 , Вт	Момент двигуна η , Нм	ККД двигуна η , в.о.
$U_{я} = U_{ян} = \text{--- В};$ $R_0 = 0 \text{ Ом};$ $I_{я} = I_{ян} = \text{--- А};$ $I_{зб} = \text{var}.$						

Таблиця 4 - Результати експериментального дослідження регулювання швидкості ДПС НЗ зміною напруги живлення якорного кола

Умови проведення досліду	Напруга якоря $U_{я}$, В	Швидкість обертання n , об/хв	Кутова швидкість обертання ω , рад/с	Потужність на валу P_2 , Вт	Момент двигуна η , Нм	ККД двигуна η , в.о.
$I_{зб} = I_{збн} = \text{--- А};$ $R_0 = 0 \text{ Ом};$ $I_{я} = I_{ян} = \text{--- А};$ $U_{я} = \text{var}.$						

Кутову швидкість обертання розраховують за рівнянням

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (12)$$

де n - швидкість обертання електродвигуна, об/хв.

Потужність на валу двигуна без урахування втрат у сталі знаходять за виразом

$$P_2 = P_1 - \Delta P_{ел\ я} = U_{я} I_{ян} - I_{ян}^2 (R_{я} + R_{\partial}), \quad (13)$$

де P_1 - потужність споживана з електромережі, Вт;

$\Delta P_{ел\ я}$ - втрати потужності зумовлені тепловою дією струму, Вт.

Момент, що розвиває двигун

$$M = \frac{P_2}{\omega}. \quad (14)$$

Коефіцієнт корисної дії при регулюванні швидкості визначається як

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{U_{я} I_{ян}}. \quad (15)$$

Побудову експериментальних електромеханічних $\omega = f(I_{я})$ і механічних $\omega = f(M)$ характеристик ДПС НЗ проводять за двома характерними точками: ідеального холостого ходу і номінального режиму роботи. Швидкість ідеального холостого ходу ω_{0i} визначити розрахунковим шляхом, використовуючи вирази (5), (9), (10). Координати номінального режиму роботи взяти з експериментальних даних.

5. Функціональні залежності механічної потужності на валу двигуна $P_2 = \varphi(\omega)$, допустимого моменту навантаження $M_{\partial on} = \varphi(\omega)$, ККД машини $\eta = \varphi(\omega)$ за різних способів регулювання швидкості ДПС НЗ побудувати в одній системі координат за розрахунковими даними таблиць 2, 3, 4. При цьому врахувати, що $M_{\partial on} = M$.

7 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити:

1. Паспортні дані обладнання та приладів.
2. Результати розрахунку електромеханічних характеристик досліджуваного двигуна за різних способів регулювання швидкості обертання за каталожними даними.
3. Електричну схему лабораторної установки для дослідження способів регулювання швидкості обертання ДПС НЗ.
4. Таблиці з результатами експериментальних досліджень.
5. Результати розрахунку електромеханічних і механічних характеристик ДПС за експериментальними даними.
6. Графіки електромеханічних $\omega = f(I_{я})$ і механічних $\omega = f(M)$

характеристик ДПС НЗ отримані розрахунковим та експериментальним шляхом.

7 Результати розрахунку і графіки залежностей $P_2 = \varphi(\omega)$, $M_{don} = \varphi(\omega)$, $\eta = \varphi(\omega)$ за різних способів регулювання швидкості ДПС НЗ.

8 Аналіз отриманих результатів.

8 Контрольні питання

1. Що розуміють під поняттям регулювання швидкості електроприводів?
2. Назвіть можливі способи регулювання швидкості двигунів постійного струму?
3. Перерахуйте основні показники регулювання кутової швидкості електроприводів?
4. Охарактеризуйте показники регулювання швидкості ДПС НЗ при введенні додаткового опору у коло якоря?
5. Охарактеризуйте показники регулювання швидкості ДПС НЗ при зміні величини магнітного потоку?
6. Охарактеризуйте показники регулювання швидкості ДПС НЗ при зміні напруги живлення якорного кола?
7. Які системи живлення використовують у сучасних електроприводах з ДПС при регулюванні швидкості зміною напруги якорного кола? Дайте стислу характеристику системи «керований клапан - двигун» і «генератор - двигун».
8. Що називають електромеханічною і механічною характеристикою ДПС? Привести рівняння ЕМХ і МХ ДПС.
9. Навести графіки електромеханічних і механічних характеристик ДПС при регулюванні швидкості зміною величини магнітного потоку. Пояснити чому ЕМХ перетинаються з віссю абсцис в одній точці, а МХ – ні?
10. Для якого характеру навантаження оптимальним варіантом регулювання швидкості ДПС є введення додаткового опору у якорне коло; зміна напруги якорного кола; зміна величини магнітного потоку?
11. За яких умов регулювання швидкості зміною магнітного потоку буде проходити зі сталою потужністю? Як при цьому зміниться момент двигуна?
11. Як зміняться момент, споживана потужність і потужність на валу двигуна при регулюванні швидкості обертання зміною опору якорного кола при сталому значенні живлячого струму?
12. Як зміняться момент, споживана потужність і потужність на валу двигуна при регулюванні швидкості зміною напруги якорного кола при сталому значенні живлячого струму?

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. 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 СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ
ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ
НЕЗАЛЕЖНОГО (ПАРАЛЕЛЬНОГО) ЗБУДЖЕННЯ
ЗМІНОЮ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА

ЗВІТ

Студент _____ групи

П.І.Б.

(підпис)

Службові примітки

Роботу захищено з оцінкою _____

Викладач _____

П.І.Б.

(підпис)

Мелітополь, 20__ р.