

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 МЕХАНІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО (НЕЗАЛЕЖНОГО) ЗБУДЖЕННЯ

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 механічних та електромеханічних характеристик двигуна постійного струму паралельного (незалежного) збудження» 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 №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 ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ І МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО (НЕЗАЛЕЖНОГО) ЗБУДЖЕННЯ	8
1 Мета роботи	8
2 Основні теоретичні відомості	8
3 Завдання самостійної роботи студента	19
4 Програма роботи	19
5 Технічна характеристика лабораторного устаткування	20
6 Вказівки щодо виконання лабораторної роботи	21
7 Вказівки щодо оформлення звіту	29
8 Контрольні питання	30
9 Список літератури	30
ДОДАТОК А Зразок оформлення титульного листа звіту з лабораторної роботи	31

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, вміти складати схеми електроприводів, регулювати і налагоджувати як машини і апарати зокрема, так і весь електропривод в цілому.

Лабораторні роботи з електропривода виконують бригадами по 2-4 чоловіки. Кожна бригада повинна виконувати всі лабораторні роботи, які 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 поточної 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 з 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 і кола керування збирають окремо; з'єднують спочатку послідовні, а потім паралельні кола. Також необхідно дотримуватися 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 подачею напруги на схему 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 шунтового реостату 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 у таблиці фіксації експериментальних даних, рекомендовані до кожної лабораторної роботи.

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

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

Перед початком роботи в лабораторії теорії електропривода студент повинен ознайомитись із схемою живлення лабораторії і робочих місць, з'ясувати, де розташовані апарати для вмикання і вимикання живлення всієї лабораторії з усіх систем живлення (змінний і постійний струм різних напруг). Крім того, потрібно ознайомитися з правилами техніки безпеки та надання першої допомоги потерпілому від електричного струму; прийняти їх до обов'язкового виконання та розписатися про це в журналі з техніки безпеки. 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 подачею напруги на схему 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 або 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 підготовки до 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 підготовки до лабораторної роботи 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 МЕХАНІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПАРАЛЕЛЬНОГО (НЕЗАЛЕЖНОГО) ЗБУДЖЕННЯ

1 Мета роботи: вивчити механічні та електромеханічні характеристики двигунів постійного струму незалежного збудження (ДПС НЗ); засвоїти методику розрахунку і експериментального одержання механічних та електромеханічних характеристик ДПС НЗ.

2 Основні теоретичні відомості

Двигуни постійного струму володіють хорошими регульовальними властивостями і мають механічні характеристики, що задовольняють вимогам більшості робочих механізмів. Тому двигуни постійного струму широко використовуються на транспорті (магістральні електровози, тепловози, приміські електропоїзди, метрополітен, трамваї, тролейбуси), в верстатах, прокатних станах, кранах, суднових установках. У переважній більшості автомобілів, тракторів, літаків і інших літальних апаратів двигуни постійного струму приводять в обертання все допоміжне обладнання.

На рисунку 1 наведено принципову схему вмикання двигуна постійного струму незалежного збудження (ДПС НЗ). Напрямок струму якоря $I_{я}$ і ЕРС E відповідають двигунному режиму роботи. В коло якоря вмикається пусковий реостат R_n , в коло обмотки збудження – регульовальний реостат R_p . Якщо обмотку збудження ввімкнути паралельно обмотці якоря, то одержимо ДПС паралельного збудження. Оскільки ЕД мають однакові властивості, то розглядати будемо тільки ДПС НЗ.

Опір пускового реостату вибирають так, щоб він обмежував струм або момент двигуна до заданого значення. Значення початкового пускового струму, якщо нема обмеження пускового моменту, обмежується умовами комутації на якорі. Із цих міркувань початковий пусковий струм не повинен перебільшувати $(2...4)I_{ян}$. Якщо ж при запуску обмежувати пусковий момент, то кратність пускового струму чисельно буде дорівнювати кратності пускового моменту

$$\kappa_i = \kappa_M = \frac{M_n}{M_H}, \quad (1)$$

де M_n – необхідний пусковий момент електродвигуна, Н·м;

M_H – номінальний момент електродвигуна, Н·м.

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (2)$$

де P_n – номінальна потужність електродвигуна, Вт;

ω_n – номінальна кутова швидкість ДПС, рад/с.

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30}, \quad (3)$$

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

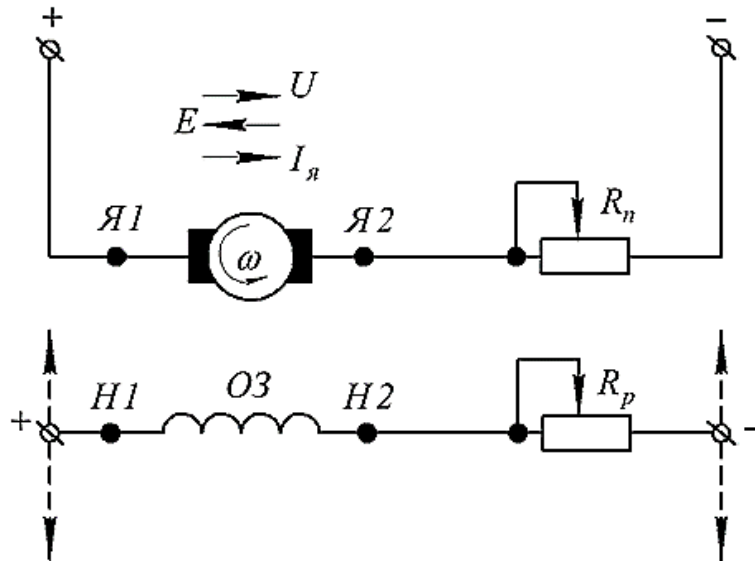


Рисунок 1 – Схема вмикання двигуна постійного струму незалежного (паралельного) збудження

$I_я$ і $I_{зб}$ – відповідно струми обмоток якоря і збудження двигуна;
 E і ω – відповідно електрорушійна сила (ЕРС) і кутова швидкість якоря;
 R_n і R_p – відповідно додаткові опори в якірному колі і колі збудження

Загалом значення пускового опору можна обчислити за формулою

$$R_n = \frac{U_я}{\kappa_i I_{ян}} - R_я, \quad (4)$$

де $U_я$ – напруга прикладена до якірного кола електродвигуна, В;

$R_я$ – опір якірної обмотки електродвигуна, Ом.

Якщо внутрішній опір електродвигуна $R_я$ невідомий і заводські дані відсутні, то опір визначають безпосереднім вимірюванням або за формулою приблизного розрахунку

$$R_я = 0,5(1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_{ян}}, \quad (5)$$

де η_n – номінальний ККД, в.о.;

$U_я$ – номінальна напруга електродвигуна, В.

Основні рівняння ДПС НЗ, що описують статичні режими роботи

$$U_{я} = E + I_{я}R, \quad (6)$$

$$E = k\Phi\omega, \quad (7)$$

$$M = k\Phi I_{я}, \quad (8)$$

де $R = R_{я} + R_{\partial}$ – сумарний опір якірного кола, який складається з внутрішнього опору двигуна та додаткового опору у колі якоря, Ом;

k – конструктивна стала електродвигуна;

Φ – магнітний потік машини, Вб;

ω – кутова швидкість обертання якоря ДПС, рад/с;

$M = M_{нав} + M_{хх}$ – електромагнітний момент електродвигуна, рівний сумі моменту навантаження на валу машини і моменту холостого ходу електродвигуна, Н·м.

З точки зору адекватного вибору електропривода робочих машин важливим є аналіз механічних характеристик електродвигуна і виробничого механізму.

Механічною характеристикою електродвигуна постійного струму називають залежність кутової швидкості обертання його валу від електромагнітного обертового моменту $\omega = f(M)$.

Механічні характеристики можуть бути природними і штучними.

Природною механічною характеристикою електродвигуна називають залежність швидкості обертання двигуна від створюваного ним моменту при номінальних параметрах мережі живлення, номінальному магнітному потоці і при відсутності додаткових опорів у колі якоря. При інших значеннях вказаних величин характеристики штучні. Кожний двигун має одну природну характеристику та безліч штучних характеристик.

Крім механічної характеристики, в теорії електропривода є поняття електромеханічної характеристики, яка представляє собою залежність кутової швидкості обертання двигуна від струму якоря $\omega = f(I_{я})$.

Після сумісного розв'язання рівнянь (6) і (7) відносно кутової швидкості отримаємо аналітичний вираз електромеханічної характеристики ДПС НЗ

$$\omega = \frac{U_{я} - I_{я}R}{k\Phi} = \frac{U_{я} - I_{я}(R_{я} + R_{\partial})}{k\Phi}. \quad (9)$$

Підставивши у рівняння (9) значення струму з формули (8) отримаємо рівняння механічної характеристики ДПС при будь-якому збудженні

$$\omega = \frac{U_{я}}{k\Phi} - \frac{M(R_{я} + R_{\partial})}{(k\Phi)^2}. \quad (10)$$

ДПС НЗ, як правило, працюють при незмінному номінальному магнітному потоці, тому добуток $k\Phi_n$ є постійною величиною, яку легко обчислити за виразом

$$k\Phi_n = \frac{U_n - I_{ян} R_y}{\omega_n}. \quad (11)$$

Із аналізу рівнянь (9-11) випливає, що електромеханічні і механічні характеристики ДПС НЗ описуються рівняннями прямої лінії. Тому у прямокутній системі координат характеристики можна побудувати за двома із трьох точок, координати яких найлегше визначити. Координати точок відповідають: режиму ідеального холостого ходу; режиму номінального навантаження; режиму короткого замикання.

Зовнішній вигляд електромеханічних характеристик ДПС НЗ представлений на рисунку 2, а механічних – на рисунку 3.

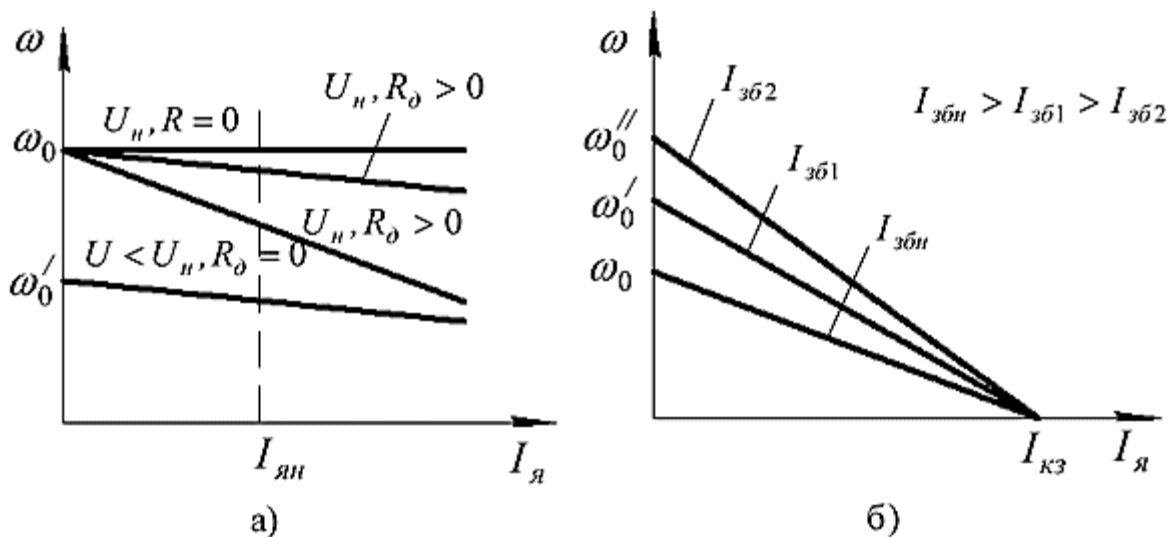


Рисунок 2 – Електромеханічні характеристики ДПС НЗ

а) – при номінальному магнітному потоці;

б) – при ослабленому магнітному потоці

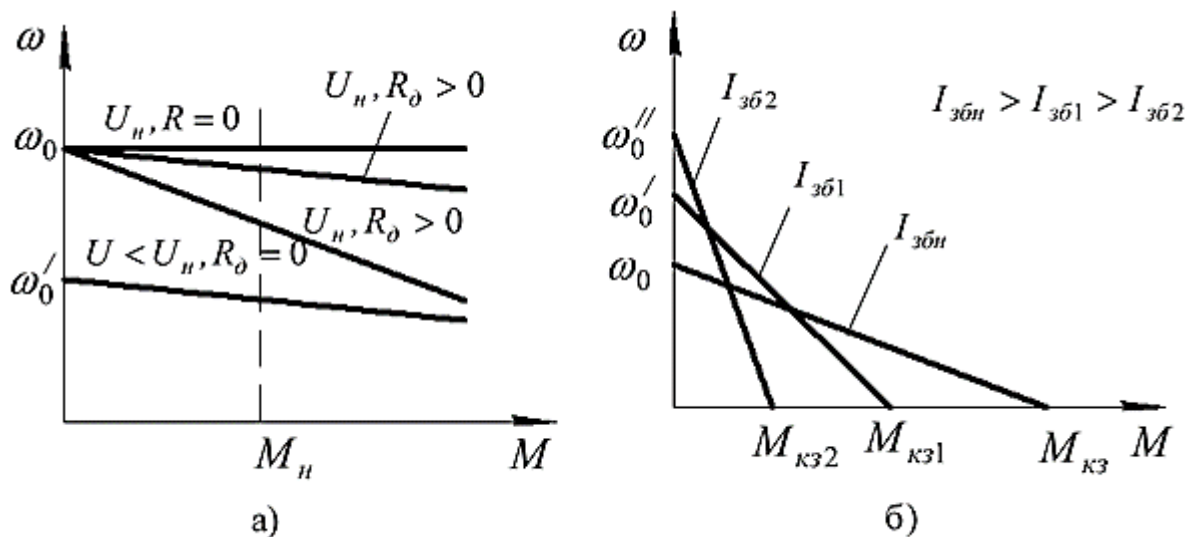


Рисунок 3 – Механічні характеристики ДПС НЗ

а) – при номінальному магнітному потоці;

б) – при ослабленому магнітному потоці

Енергетичний режим роботи ЕД залежить від механічних (M, ω) і електричних (E, I_y) координат ЕД, які визначають його механічну $M\omega$ і електромагнітну EI_y потужності.

За умови співпадання напрямку дії механічних координат і протилежному напрямку струму і ЕРС має місце двигунний режим роботи, а при протилежному напрямі кутової швидкості і моменту та однаковому напрямі ЕРС і струму – генераторний. Між двигунним і генераторним режимами роботи є режими ідеального холостого ходу і короткого замикання, в яких одна з електричних і механічних змінних дорівнює нулю. При ідеальному холостому ході струм і момент дорівнюють нулю, а при короткому замиканні нульові значення мають ЕРС і швидкість.

Розглянемо режими роботи ДПС НЗ на різних ділянках його характеристик при позитивній полярності напруги.

Режим ідеального холостого ходу (точки $\omega_0, -\omega_0$ рис. 3). Двигун споживає з мережі живлення струм збудження, якір двигуна обертає робоча машина. При цьому $I_y = 0; U = E; M = 0; \omega = \omega_0$.

В двигунному режимі роботи ДПС НЗ споживає енергію з мережі. При цьому протиелектрорушійна сила менша за напругу $E < U$, межі зміни кутової швидкості при прямому напрямку обертання $0 < \omega < \omega_0$, при зворотному - $0 < -\omega < -\omega_0$. Напрямки дії струму і напруги співпадають, а ЕРС направлена у протилежний бік. У двигунному режимі електроенергія надходить з електричної мережі, а механічна енергія віддається з вала ДПС НЗ робочій машині. Механічні характеристики розташовуються у I і III квадрантах (рисунок 4).

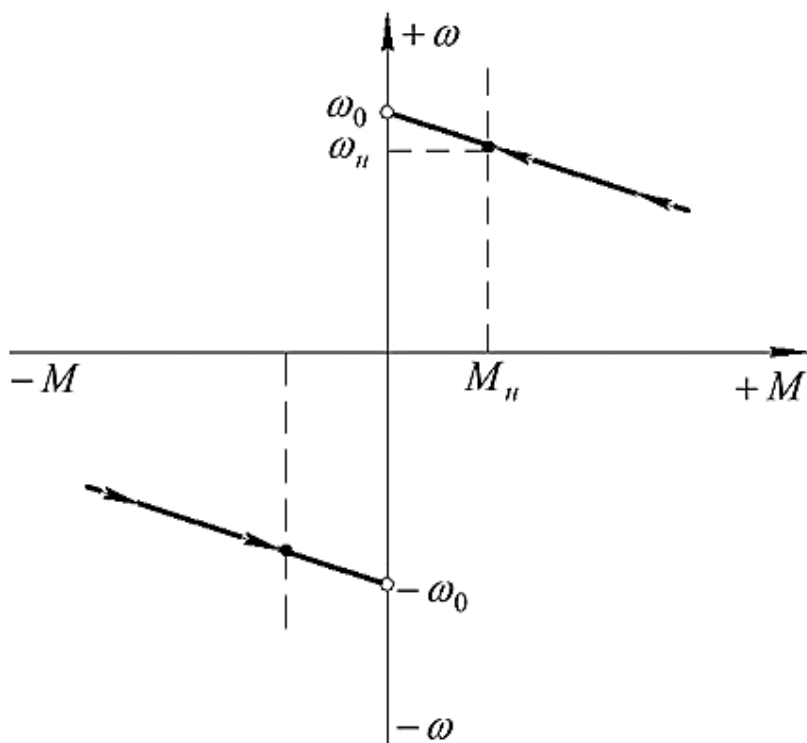


Рисунок 4 – Механічні характеристики ДПС НЗ

Режим короткого замикання спостерігається при нерухомому якорі, коли $\omega = 0$; $E = 0$. При цьому $I_{я} = I_{кз} = \frac{U}{R}$, а споживана з мережі електрична енергія витрачається на нагрівання опорів кола якоря.

Гальмівні режими роботи мають місце у другому і четвертому квадрантах – це генераторні режими, оскільки механічна енергія, що поступає з вала машини, перетворюється в електричну і передається на виводи машини. В залежності від способу використання електричної енергії розрізняють три гальмівні режими.

Рекуперативне гальмування (генераторний режим роботи ДПС НЗ паралельно з електричною мережею) здійснюється тоді, коли при незмінній схемі вмикання електродвигуна його якор під дією активного моменту статичних опорів робочої машини обертається зі швидкістю, більшою за швидкість ідеального холостого ходу $\omega > \omega_0$. При цьому ЕРС якоря вища за прикладену напругу, тому струм якоря і обертовий момент змінюють свій напрямок. Рівняння механічної характеристики в режимі рекуперативного гальмування приймає вигляд

$$\omega = \omega_0 + \frac{M(R_{\text{об}} + R_{\text{з.п.}})}{(k\Phi_n)^2}, \quad (12)$$

де $R_{\text{з.п.}}$ – опір рекуперативного гальмування, Ом.

Графічно ці характеристики представляють прямими лініями $1'$, $2'$ (рисунок 5), які є продовженням механічної характеристики двигунного режиму у II квадранті. Гальмівний момент регулюють зміною опору $R_{e.p.}$.

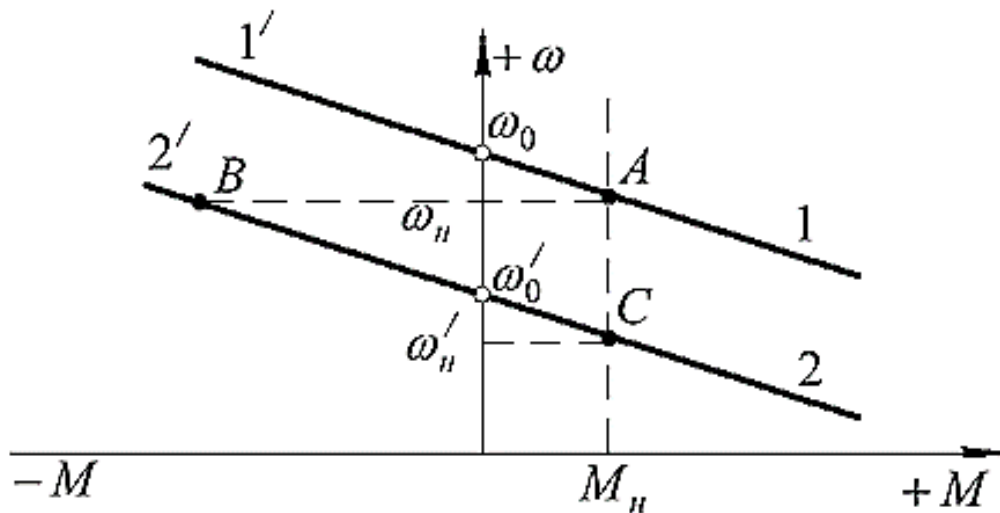


Рисунок 5 – Механічні характеристики ДПС НЗ при рекупераивному гальмуванні

Рекупераивне гальмування економічне, перехід з двигунного режиму в гальмівний відбувається плавно без перемикань у колі якоря і колі збудження електродвигуна. Його застосовують, наприклад, у приводах підйомних і транспортних механізмів.

Застосування рекупераивного гальмування обмежується максимальною швидкістю обертання приводного електродвигуна. Рекупераивне гальмування також можливе і при низьких швидкостях, коли останню регулюють зміною напруги, оскільки $\omega_0 \equiv U$. Так, якщо ДПС в двигунному режимі працював в точці A , то при зниженні напруги робоча точка переходить на нову МХ, відрізок якої $B\omega'_0$ відповідає рекупераивному гальмуванню.

Режим гальмування противмиканням (режим генератора послідовно з електричною мережею) має місце, коли напрямок дій обертального моменту ЕД протилежний напрямку обертання його якоря. Може бути три випадки цього виду гальмування в залежності від характеру моменту опору виконавчого органу робочої машини: активний чи реактивний.

Реактивними називають сили і моменти статичних опорів, які виникають внаслідок руху як протидія механічної ланки на рух. До них належать сили і моменти, зумовлені тертям, опором матеріалу при обробці різанням, опором потоку повітря у вентиляторах або рідини у насосах і т. ін. Реактивні сили і моменти завжди спрямовані проти руху і при зміні напрямку руху змінюють свій знак. Елементи механічної системи, які створюють реактивні сили і моменти, можуть бути тільки споживачами енергії.

Активні сили і моменти статичних опорів створюються сторонніми

джерелами механічної енергії і виникають у механічній системі незалежно від її руху. До них належать сили і моменти, зумовлені тяжінням, стисканням, розтягуванням і скручуванням пружних тіл, силою вітру чи потоку падаючої води. Напрямок дії активних сил і моментів не залежить від напрямку руху і при зміні останнього вони зберігають свій знак. Джерело активної сили або моменту може споживати або віддавати механічну енергію. Так, вантаж, переміщуваний підйомником, при підніманні споживає механічну енергію від електродвигуна, а при опусканні віддає її електродвигуну, внаслідок чого останній працює в гальмівному режимі.

Перший випадок гальмування противмиканням реалізується в ЕП машин з активним моментом статичних опорів, наприклад, в вантажопідйомних механізмах при спуску вантажу. Двигун з активним моментом на валу M_o (рисунок 6) працює в точці A природної механічної характеристики 1 в режимі двигуна. Для переходу з режиму двигуна в режим гальмування противмиканням досить увімкнути в коло якоря достатню величину зовнішнього додаткового опору $R_{z.n.}$. Робоча точка електродвигуна переходить на штучну механічну характеристику 2 в точку B . Виникає від'ємний динамічний момент, внаслідок чого знижується швидкість і на відрізку CD здійснюється режим гальмування противмиканням.

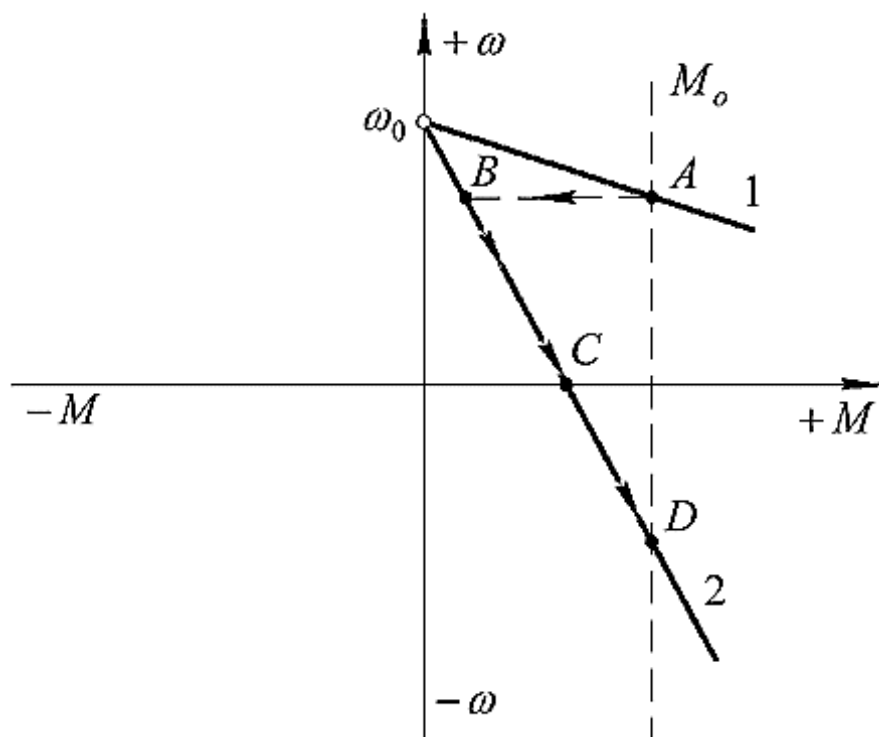


Рисунок 6 – Механічні характеристики ДПС НЗ при гальмуванні противмиканням при введенні додаткового активного опору у коло якоря

Під дією активного моменту змінюється напрямок обертання ЕД $\omega < 0$ і напрямок ЕРС якоря, яка буде діяти узгоджено з напругою мережі. При цьому якір двигуна споживає енергію як з мережі, так і від вала машини. Ця енергія у вигляді тепла виділяється в опорах кола якоря. Оскільки напруга, прикладена до

якірного кола, і ЕРС якоря мають однаковий напрямок, то струм у колі якоря різко зростає. Момент двигуна, напрямок дії якого не змінюється, буде гальмівним. Усталеному режиму спуску вантажу відповідає точка D , коли зрівнюються статичний і гальмівний моменти. Характеристики ДПС НЗ за даного способу гальмування розташовуються у IV квадранті.

Механічна характеристика двигуна, що працює в режимі гальмування противмиканням у випадку зміни напрямку обертання описується рівнянням

$$-\omega = \omega_0 - \frac{M(R_{\text{об}} + R_{\text{з.н.}})}{(k\Phi_n)^2}, \quad (13)$$

де $R_{\text{з.н.}}$ – опір гальмування противмиканням, Ом.

Другий випадок гальмування противмиканням реалізується при збільшенні величини активного статичного моменту опору від M_{o1} до M_{o2} (рисунок 7). Електродвигун працює на штучній механічній характеристиці в точці A . Збільшення навантаження спричинить виникнення від'ємного динамічного моменту, внаслідок чого почнеться зниження швидкості до зупинки у точці B , а потім – реверс якоря до швидкості в точці C .

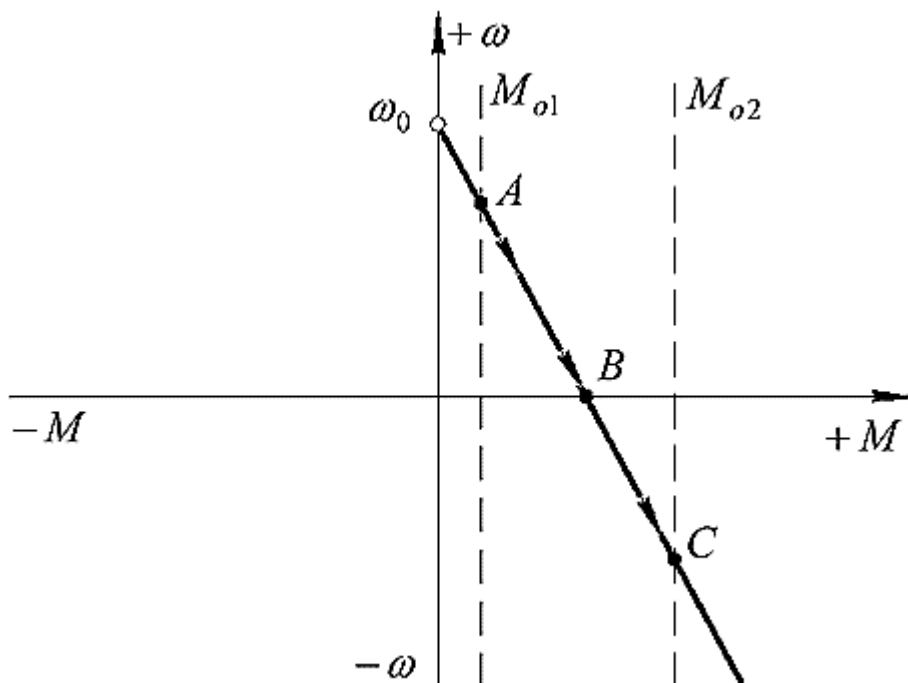


Рисунок 7 – Механічні характеристики ДПС НЗ при гальмуванні противмиканням при збільшенні статичного моменту опору

Графік механічної характеристики за цього режиму представляє собою пряму, яка є продовженням лінії МХ двигунного режиму в зоні IV квадранта.

Третій випадок гальмування противмиканням використовується в приводах машин з реактивним моментом статичних опорів і здійснюється шляхом зміни полярності напруги, підведеної до якоря двигуна, що працює в

двигунному режимі. Це призведе до зміни напрямків струму в колі якоря і електромагнітного моменту. Робоча точка A переміщується в другий квадрант в точку B (рисунок 8).

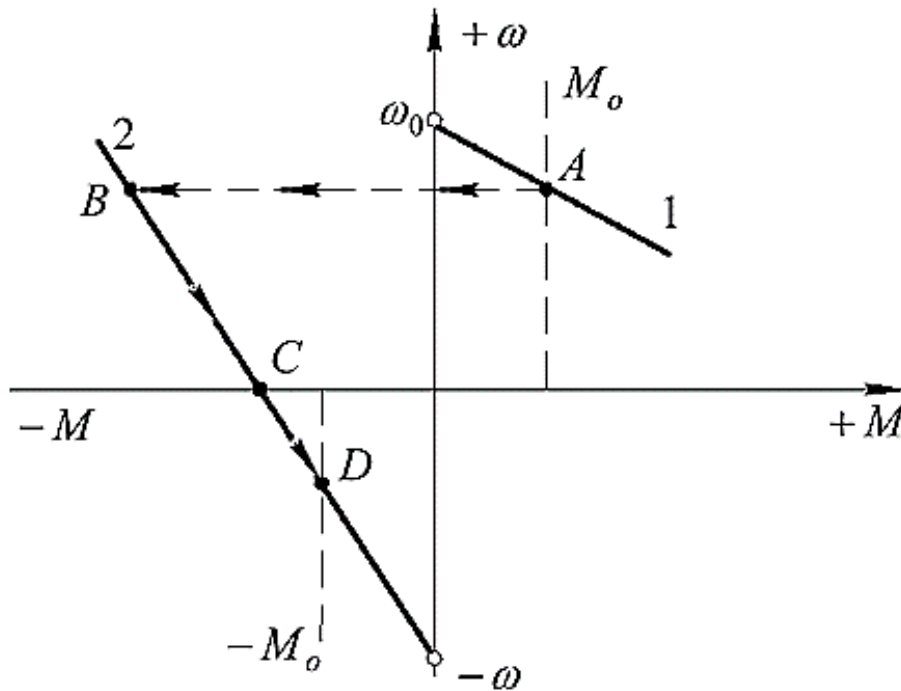


Рисунок 8 – Механічні характеристики ДПС НЗ при гальмуванні противмиканням при зміні полярності напруги, підведеної до якоря двигуна

Поки напрямок обертання не змінився (якір під дією кінетичної енергії системи «ЕД–РМ» продовжує обертатися в попередньому напрямку), електромагнітний момент ДПС НЗ діє в протилежному напрямку, тобто гальмує привод. В цьому випадку напруга мережі і ЕРС якоря діють узгоджено і рівняння механічної характеристики прийме вигляд

$$\omega = -\omega_0 + \frac{M(R_{\text{дв}} + R_{\text{з.п.}})}{(k\Phi_n)^2}. \quad (14)$$

Графічно механічна характеристика за цього способу гальмування зображується прямою лінією BC . В момент зупинки (точка C) двигун необхідно вимкнути з мережі, інакше він знову перейде у двигунний режим і буде обертати РМ в протилежному напрямку.

Режим динамічного гальмування або режим генератора, працюючого незалежно від мережі, створюється шляхом вимикання якоря з мережі і замикання його на зовнішній опір або накоротко. Закорочування якоря двигуна не означає для нього режиму короткого замикання. Можливі два способи динамічного гальмування: із самозбудженням та з незалежним збудженням.

У цьому режимі двигун працює як генератор, перетворюючи механічну енергію, що поступає з вала робочої машини в електричну, яка розсіюється на

обмотці якоря машини та гальмівному резисторі. Оскільки якір ЕД вимикається з мережі, то $U = 0$, $\omega_0 = \frac{U}{k\Phi_n} = 0$ і струм якоря $I_{я} = I_{з.д} = \frac{0 - E}{R} = -\frac{E}{R}$, де R – сумарний опір кола якоря ДПС НЗ. Тоді рівняння механічної характеристики двигуна, що працює в режимі динамічного гальмування матиме вигляд

$$\omega = -\frac{M(R_{я} + R_{з.д.})}{(k\Phi_n)^2}. \quad (15)$$

де $R_{з.д.}$ – опір динамічного гальмування, Ом.

Із рівняння (8) видно, що механічні характеристики є прямими лініями, які незалежно від величини опору проходять через початок координат. Жорсткість характеристик при сталому потоці збудження залежить лише від величини гальмівного опору $R_{з.д.}$.

Зовнішній вигляд механічних характеристик ДПС НЗ при динамічному гальмуванні представлено на рисунку 9. При динамічному гальмуванні ЕД із незалежним збудженням, на валу якого діє реактивний момент, двигун переходить з точки A в точку B і гальмується до повної зупинки в точці C .

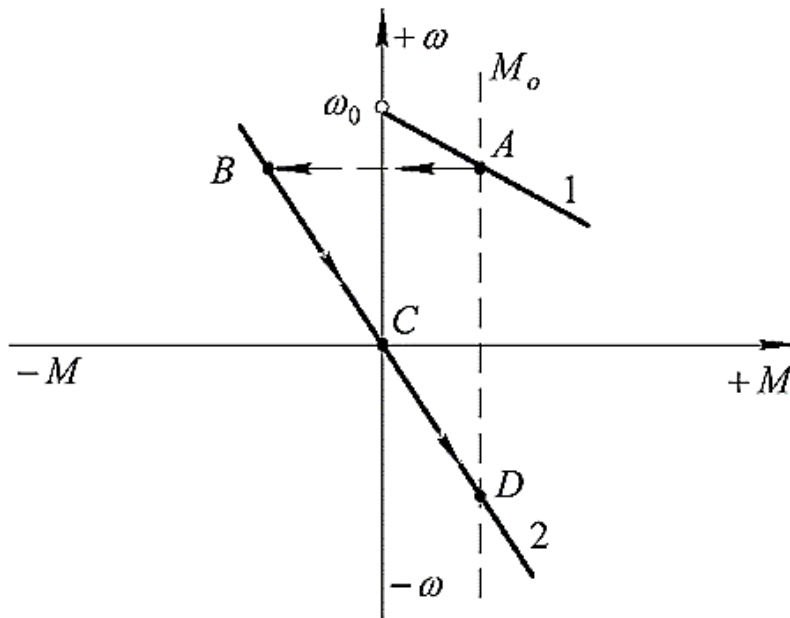


Рисунок 9 – Механічні характеристики ДПС НЗ при динамічному гальмуванні із незалежним збудженням

При активному моменті на валу двигун може працювати в точці D , яка відповідає усталеній гальмівній швидкості, наприклад, при опусканні вантажу.

При динамічному гальмуванні із самозбудженням ЕД працює в режимі генератора з самозбудженням на зовнішній опір $R_{з.д.}$. Характерною рисою цього режиму є те, що в процесі гальмування при деякій критичній швидкості, залежній від опору кола обмотки збудження, гальмівний момент практично зникає. Це

пояснюється тим, що при швидкостях, менших від критичної, не відбувається самозбудження.

До переваг динамічного гальмування ДПС НЗ можна віднести простоту і економічність способу (у гальмівному режимі енергія з мережі витрачається тільки на живлення обмотки збудження), надійність і плавність гальмування. Гальмування при відсутності напруги в мережі є основними перевагами цього гальмівного режиму, тому він застосовується як аварійний. Недоліком є зникнення гальмівного моменту при швидкостях двигуна, менших за критичну при динамічному гальмуванні із самозбудженням.

3 Завдання самостійної роботи студента

1. Опрацювати матеріали по рекомендованій літературі [1 тема 2, лекція «Природні та штучні характеристики двигунів постійного струму, рівняння характеристик та їх аналіз»; 2 с. 45-57, 3 с. 156-161, 4 с. 244-252]. Пригадати будову, енергетичні режими роботи і основні рівняння двигунів постійного струму незалежного (паралельного) збудження.

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

3. Відповісти на контрольні запитання.

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

4 Програма роботи

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

2. За каталожними даними розрахувати та побудувати природну і штучну (при введенні в коло якоря додаткового опору $R_{\partial} = 16 \text{ Ом}$) електромеханічні характеристики $\omega = f(I_{\text{я}})$ ДПС НЗ.

3. За каталожними даними розрахувати і побудувати природну та штучну ($R_{\partial} = 16 \text{ Ом}$) механічні характеристики $\omega = f(M)$ ДПС НЗ.

4. Експериментально визначити опір обмоток двигуна та привести їх до розрахункової робочої температури.

5. Провести дослід по встановленню залежності моменту втрат в системі машин $M1 - M2$ від швидкості $\omega = f(M_{\text{втрат}})$.

6. Зібрати схему експериментальної установки для дослідження механічних та електромеханічних характеристик ДПС НЗ.

7. Дослідити електромеханічну $\omega = f(I_{\text{я}})$ та механічну $\omega = f(M)$ характеристики ДПС НЗ в генераторному та двигунному режимах за різних значень опору у колі якоря ($R_{\partial} = 0$, $R_{\partial} = 16 \text{ Ом}$).

8. Дослідити механічну характеристику $\omega = f(M)$ ДПС НЗ в режимі динамічного гальмування при $R_{\text{с.}\partial} = 16 \text{ Ом}$.

9. Дослідити механічну характеристику $\omega = f(M)$ ДПС НЗ в режимі гальмування противмиканням при $R_{\text{з.н.}} = 16 \text{ Ом}$.

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

11. Провести аналіз характеристик, отриманих експериментальним та розрахунковим шляхом.

12. Оформити звіт з лабораторної роботи.

5 Технічна характеристика лабораторного устаткування

Таблиця 1 – Технічна характеристика лабораторного устаткування

Робоче місце №1							
М1		М2		М3		М4	
Тип	П-22	Тип	П-31	Тип	ПН-17,5	Тип	4А80В4БСУ1
$P_{\text{н}}$, кВт	1,0	$P_{\text{н}}$, кВт	1,0	$P_{\text{н}}$, кВт	1,24	$P_{\text{н}}$, кВт	1,5
$U_{\text{н}}$, В	220	$U_{\text{н}}$, В	230	$U_{\text{н}}$, В	230	$U_{\text{н}}$, В	380/220
$I_{\text{н}}$, А	5,9	$I_{\text{н}}$, А	4,35	$I_{\text{н}}$, А	5,4	$I_{\text{н}}$, А	3,6/6,2
$n_{\text{н}}$, об/хв	1500	$n_{\text{н}}$, об/хв	1450	$n_{\text{н}}$, об/хв	1430	$n_{\text{н}}$, об/хв	1400
$\eta_{\text{н}}$, %	77	$\eta_{\text{н}}$, %	70	$\eta_{\text{н}}$, %	72	$\eta_{\text{н}}$, %	77
m , кг	43,8	m , кг	53	m , кг	78	m , кг	20,8
Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е
ГОСТ	183-55	ГОСТ	183-55	ГОСТ	ПЭК-49	ГОСТ	ПЭК-49
Робоче місце №2							
М1		М2		М3		М4	
Тип	П-31	Тип	П-32	Тип	П-32	Тип	4А80В4У3
$P_{\text{н}}$, кВт	1,5	$P_{\text{н}}$, кВт	1,5	$P_{\text{н}}$, кВт	1,5	$P_{\text{н}}$, кВт	1,5
$U_{\text{н}}$, В	220	$U_{\text{н}}$, В	230	$U_{\text{н}}$, В	230	$U_{\text{н}}$, В	380/220
$I_{\text{н}}$, А	8,6	$I_{\text{н}}$, А	6,5	$I_{\text{н}}$, А	6,5	$I_{\text{н}}$, А	3,52/6,1
$n_{\text{н}}$, об/хв	1500	$n_{\text{н}}$, об/хв	1450	$n_{\text{н}}$, об/хв	1450	$n_{\text{н}}$, об/хв	1395
$\eta_{\text{н}}$, %	79	$\eta_{\text{н}}$, %	71	$\eta_{\text{н}}$, %	71	$\eta_{\text{н}}$, %	75
m , кг	53	m , кг	62	m , кг	62	m , кг	13,8
Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е	Клас ізоляції	Е
ГОСТ	183-55	ГОСТ	183-55	ГОСТ	183-55	ТУ	16-525.564-84
Додатковий опір , що вводиться у якірне коло $R_{\text{д}} = 16 \text{ Ом}$							
Амперметр							
Вольтметр							

6 Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

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

2. Розрахувати та побудувати електромеханічні характеристики досліджуваного двигуна за каталожними даними: природну та штучну при введенні в коло якоря додаткового опору R_d .

Розрахунок електромеханічних характеристик ДПС НЗ проводять згідно рівняння (9) за двома із трьох точок, координати яких найлегше визначити. Координати точок відповідають:

- режиму ідеального холостого ходу

$$\omega_0 = \frac{U_n}{k\Phi_n}, \quad I_{я} = 0. \quad (16)$$

- режиму номінального навантаження

$$\omega_{ni} = \frac{U_n - I_{ян}(R_{я} + R_d)}{k\Phi_n}, \quad I_{я} = I_{ян}. \quad (17)$$

- режиму короткого замикання

$$\omega = 0, \quad I_{я} = I_{к.з.} = \frac{U_n}{(R_{я} + R_d)}. \quad (18)$$

На практиці найчастіше користуються координатами перших двох точок.

Параметр $k\Phi_n$ розрахувати за рівнянням (11), опір якірної обмотки ДПС НЗ – за рівнянням (5). Швидкість ідеального холостого ходу не залежить від опору обмоток якоря, тому для розрахунку характеристик достатньо обчислити координати режиму ідеального холостого ходу ($0; \omega_0$) та координати режиму номінального навантаження за умови $R_d = 0$ ($I_{ян}; \omega_{н пр}$) та $R_d = 16$ Ом ($I_{ян}; \omega_{н шт}$).

За результатами розрахунків в одній системі координат побудувати природну та штучну електромеханічні характеристики $\omega = f(I_{я})$ дослідного двигуна.

3. Розрахувати і побудувати природну та штучну (при введенні у якірне коло додаткового опору $R_d = 16$ Ом) механічні характеристики $\omega = f(M)$ досліджуваного двигуна.

Оскільки магнітний потік машини залишається незмінним, то зовнішній вигляд механічних характеристик ДПС НЗ ідентичний електромеханічним характеристикам і для їх побудови достатньо визначити електромагнітний

момент дослідного електродвигуна при номінальному навантаженні $M_{емн} = k\Phi_n I_{ян}$.

Механічну характеристику побудувати за трьома точками з координатами $(0; \omega_0)$, $(M_{емн}; \omega_{нпр})$, $(M_{емн}; \omega_{ншт})$.

4. Експериментально визначити опір обмоток двигуна та привести їх 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

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (19)$$

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

$$R_{t_2} = R \frac{235 + t_2}{235 + t_1}, \quad (20)$$

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 за ДСТУ ІЕС 60034-2:2015 «Машини електричні обертові. Частина 2. Методи визначення втрат і ККД обертових електричних машин за допомогою випробувань» 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 до ГОСТ25941-83. Якщо ustalена робоча температура обмоток значно відрізняється від розрахункової, то потрібно брати опір при фактичній температурі обмоток.

Експериментальні дані занести до таблиці 2.

Таблиця 2 – Експериментальні дані по визначенню опору обмоток ДПС НЗ типу _____

$t_1 = \text{---} \text{ } ^\circ\text{C}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R, \text{ Ом}$	$R_{t_2}, \text{ Ом}$
<i>Я1-Я2</i>					
<i>Н1-Н2(Ш1-Ш2)</i>					

5. Схема електрична принципова експериментальної установки для зняття залежності моменту втрат від кутової швидкості в системі машин $M1 - M2$ $\omega = f(M_{втрат})$ представлена на рисунку 10.

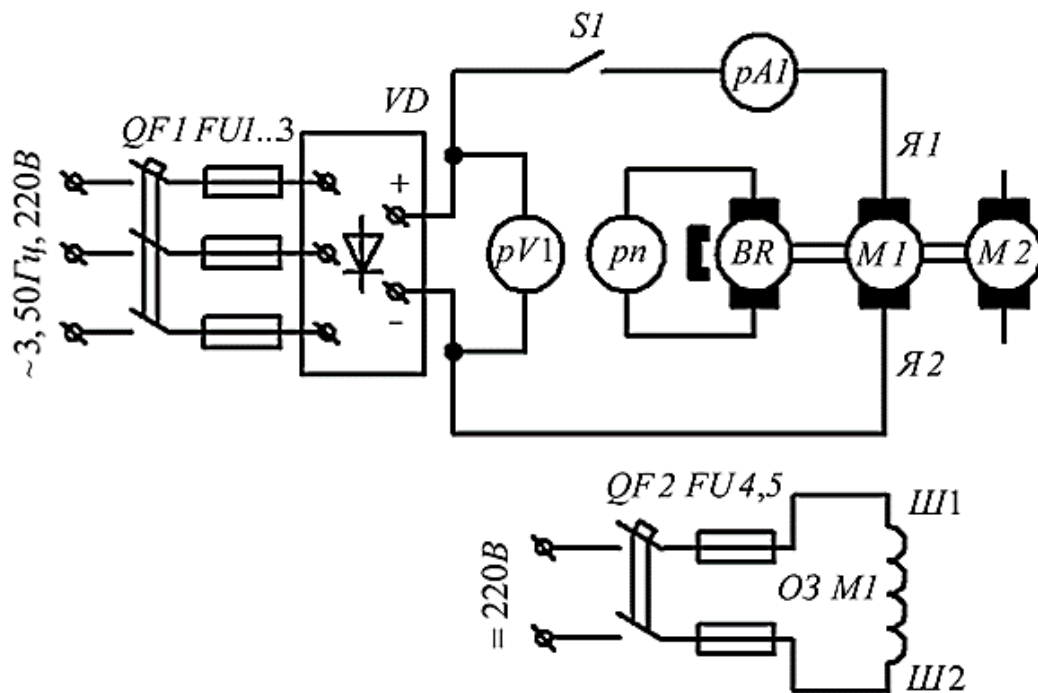


Рисунок 10 – Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження залежності моменту втрат в системі машин $M1 - M2$ від швидкості

Автоматичним вимикачем $QF2$ подати живлення на обмотку збудження машини $M1$. Автоматом $QF1$ подати живлення на регульований випрямляч напруги VD . Замкнути рубильник $S1$. Змінюючи напругу на якорі машини $M1$ від 0 до 240 В вимірюють струм якорного кола та швидкість обертання машин. Дані занести до таблиці 3.

Таблиця 3 – Дані досліду залежності моменту втрат від кутової швидкості в системі машин $M1 - M2$ $\omega = f(M_{втрат})$

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

Величину електромагнітного моменту, необхідного для обертання системи $M1 - M2$ на холостому ході визначаємо за рівнянням

$$M_{втрати} = k\Phi_n I_{яM1i}, \quad (21)$$

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

$I_{яM1i}$ – струм якоря машини $M1$.

Зміна напрямку обертання системи машин $M1 - M2$ не впливає на величину втрат – графік залежності $\omega = f(M_{втрат})$ у III квадранті симетричний графіку у I квадранті відносно початку координат. Графік $\omega = f(M_{втрат})$ має розрив при зміні знаку кутової швидкості. Величина розриву чисельно дорівнює подвоєним втратам в агрегаті $M1 - M2$ при швидкості обертання рівній нулю.

6. Схема електрична принципова експериментальної установки для дослідження характеристик ДПС НЗ представлена на рисунку 11.

Підготувати експериментальну установку до проведення дослідів наступним чином

- 1) Зібрати і перевірити електричну схему рисунок 11.
- 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 $M3$ за допомогою реостатів у колах збудження машин постійного струму.
- 5) Запустити двигун $M1$. Для цього при повністю введеному пусковому реостаті R_d перевести перемикач $S2$ у положення «1». Після запуску двигуна повністю вивести пусковий реостат.
- 6) Автоматичним вимикачем $QF1$ подати живлення на двигун $M4$.

8) Після вирівнювання ЕРС (вольтметр $PV1$ показуватиме напругу рівну нулю) замкнути рубильник $S1$ і дослідити двигун у необхідному режимі.

Під час проведення усіх дослідів струм в обмотці збудження машини $M2$ підтримувати незмінним.

Електромеханічну $\omega = f(I_{я})$ та механічну $\omega = f(M)$ характеристики ДПС НЗ починають знімати з режиму генераторного гальмування, а потім переходять до двигунного режиму. Перед замиканням рубильника $S1$ зафіксувати напрям відхилення стрілки амперметра $pA2$ – двигунний режим. Замкнути рубильник $S1$. Збільшуючи струм в обмотці збудження машини $M3$ перевести досліджуваній двигун в генераторний режим. Перша точка характеристики знімається за максимальної швидкості обертання машини $M1$, що не має перевищувати більш ніж у 1,3 рази швидкість ідеального холостого ходу обертання ДПС НЗ та при струмі не більше $1,5I_{ян}$. Поступово зменшуючи струм в обмотці збудження машини $M3$, знімають декілька точок характеристики в режимі генераторного гальмування до швидкості ідеального холостого ходу n_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 $M3$, машину $M1$ перевести в двигунний режим, збільшуючи навантаження на валу. Експериментальні дані занести до таблиці 4. Після закінчення дослідів установку повернути у вихідне положення, ввести реостат Rd в коло якоря та аналогічно виконаному раніше, зняти дані для побудови штучних електромеханічної та механічної характеристик в генераторному режимі та режимі двигуна.

Електромагнітний момент навантажувальної машини $M2$

$$M_{EM M2i} = k\Phi_{\delta} I_{я M2i}, \quad (22)$$

де $k\Phi_{\delta}$ – параметр машини $M2$, що залежить від величини магнітного потоку 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

$$k\Phi_{\delta} = \frac{I_{зб}}{I_{збн}} k\Phi_{н M2}, \quad (23)$$

де $k\Phi_{н M2}$ – параметр машини при номінальному магнітному потоці. Розрахувати за рівнянням (11).

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

Таблиця 4 – Результати експериментального дослідження механічних та електромеханічних характеристик ДПС НЗ у двигунному та генераторному режимах роботи

Умови проведення досліджу	Швидкість обертання n , об/хв	Швидкість обертання ω , рад/с	Електромагнітний момент машини $M2$			Момент втрат $M_{втрат}$, Н·м	Момент ДПС НЗ $M1$ $M_{EM M1}$, Н·м
			$I_{яM2}$, А	$I_{зб}$, А	$M_{EM M2}$, Н·м		
$R_0=0$ Ом	Генераторне гальмування						
	Двигунний режим						
$R_0=16$ Ом	Генераторне гальмування						
	Двигунний режим						
Додаткові експериментальні дані							
Номинальний струм збудження машини $M2$ $I_{збн} = \text{_____}$ А;							

Електромагнітний момент ДПС НЗ $M1$ визначається

– у двигунному режимі

$$M_{EM M1} = |M_{EM M2}| + |M_{втрат}| \quad (24)$$

– у генераторному режимі

$$M_{EM M1} = -|M_{EM M2}| + |M_{втрат}| \quad (25)$$

8. Для дослідження характеристик ДПС НЗ у режимі динамічного гальмування при повністю введеному опорі $R_{\theta} = R_{z,\theta} = 16$ Ом необхідно підготувати досліду установку згідно рекомендацій. При цьому в обмотці збудження машини $M3$ встановити мінімальний струм, в обмотці збудження машини $M2$ – максимальний. Рубильник $S2$ перевести у положення «5». Замкнути рубильник $S1$. Збільшуючи струм в обмотці збудження машини $M3$ зняти гальмівну характеристику двигуна $M1$. Результати експерименту записати в таблицю 5. Струм якоря записати зі знаком мінус.

Таблиця 5 – Результати експериментального дослідження механічних та електромеханічних характеристик ДПС НЗ у режимі динамічного гальмування

Умови проведення досліду	Швидкість обертання n , об/хв	Швидкість обертання ω , рад/с	Електромагнітний момент машини $M2$		Момент втрат $M_{втрат}$, Н·м	Момент ДПС НЗ $M1$ $M_{EM M1}$, Н·м
			$I_{яM2}$, А	$M_{EM M2}$, Н·м		
$R_{\theta} = 16$ Ом						
Додаткові експериментальні дані						
Номінальний струм збудження машини $M2$ $I_{збн} = \underline{\hspace{2cm}}$ А;						

Електромагнітний момент навантажувальної машини $M2$ визначити як

$$M_{EM M2i} = k\Phi_{н M2} I_{я M2i}, \quad (26)$$

Електромагнітний момент ДПС НЗ $M1$ у режимі динамічного гальмування визначається

$$M_{EM M1} = -|M_{EM M2}| + |M_{втрат}| \quad (27)$$

9. Для виконання досліду гальмування противмиканням необхідно виключити установку з мережі постійної та змінної напруги. Розімкнути рубильник $S1$. Змінити напрям обертання двигуна $M4$ зміною порядку чергування будь-яких двох фаз живлячої напруги. Підготувати установку до роботи у послідовності викладеної у пункті 6. При цьому пусковий опір залишити повністю введеним. Встановити номінальний струм в обмотці збудження машини $M2$ та мінімальний в обмотці збудження $M3$. Замкнути рубильник $S1$, при цьому швидкість двигуна сповільниться. Досліджуваний

двигун буде працювати в двигунному режимі. Поступово збільшуючи струм в обмотці збудження машини $M3$, зменшити швидкість двигуна $M1$ 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 та електромеханічних характеристик ДПС НЗ у режимі гальмування противмиканням

Умови проведення дослідів	Швидкість обертання n , об/хв	Швидкість обертання ω , рад/с	Електромагнітний момент машини $M2$		Момент втрат $M_{втрат}$, Н·м	Момент ДПС НЗ $M1$ $M_{ЕМ M1}$, Н·м
			$I_{я M2}$, А	$M_{ЕМ M2}$, Н·м		
$R\delta = 16 \text{ Ом}$						
Додаткові експериментальні дані						
Номинальний струм збудження машини $M2$ $I_{збн} = \text{_____ А}$;						

Електромагнітний момент навантажувальної машини $M2$ визначити за (26).

Електромагнітний момент ДПС НЗ $M1$ у режимі гальмування противмиканням визначається

$$M_{ЕМ M1} = |M_{ЕМ M2}| + |M_{втрат}| \quad (28)$$

10. За експериментальними даними таблиць 4-6 в одній системі координат побудувати електромеханічні і механічні характеристики досліджуваного двигуна для різних режимів роботи.

11. Порівняти результати розрахунку механічної характеристики за каталожними та експериментальними даними.

7 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити:

1. Паспортні дані обладнання та приладів.
2. Результати розрахунку та графіки механічних і електромеханічних характеристик досліджуваного двигуна, розраховані за каталожними даними.

3. Схеми електричні принципові експериментальних установок рисунки 10, 11.

4. Результати розрахунку моменту втрат холостого ходу у системі машин $M1 - M2$.

5. Графіки залежностей електромеханічних $\omega = f(I_{я})$ та механічних $\omega = f(M)$ характеристик досліджуваного ДПС НЗ за різних режимів роботи, отримані експериментальним шляхом.

6. Аналіз отриманих результатів.

8 Контрольні питання

1. За принциповою електричною схемою пояснити метод зворотної роботи електричних машин?

2. Від чого залежить ЕРС і електромагнітний момент ДПС НЗ?

3. Дайте визначення електромеханічній та механічній характеристиці АД.

4. Дайте визначення природної і штучної механічної характеристик?

5. Записати рівняння електромеханічної і механічної характеристики і проаналізувати їх.

6. Як розрахувати і побудувати природні МХ і ЕМХ ДПС НЗ за каталожними даними?

7. Як визначити величину опору внутрішнього кола якоря ДПС НЗ за даними каталогу і за дослідними даними?

8. Пояснити, чому характеристики ДПС НЗ представляють собою прямі лінії? Від чого залежить жорсткість характеристик?

9. Назвіть режими роботи ДПС НЗ?

10. Як перевести двигун в режим генераторного гальмування?

11. Як зміниться механічна характеристика ДПС НЗ при введенні опору в коло якоря?

12. Як здійснити гальмування противмиканням ДПС НЗ?

13. Як здійснити динамічне гальмування ДПС НЗ?

14. Як визначити струм якоря у гальмівних режимах ДПС НЗ?

9 Список літератури

1. Лекції з дисципліни «Основи електропривода» / С.О. Квітка – НІП ТДАТУ. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://nip.tsatu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=3766>.

2. Електропривод: підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко [та інш.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: «Ліра-К», 2009. – 504 с.

3. Електропривод: ч.1 / О.С. Марченко, Ю.М. Лаврінченко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; За ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 208 с.

4. Назарьян Г.Н. Электрические машины: Учебное издание для вузов. – Мелитополь, Люкс, 2011. – 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 МЕХАНІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ
ПАРАЛЕЛЬНОГО (НЕЗАЛЕЖНОГО) ЗБУДЖЕННЯ

ЗВІТ

Студент _____ групи

П.І.Б.

(підпис)

Службові примітки

Роботу захищено з оцінкою _____

Викладач _____

П.І.Б.

(підпис)

Мелітополь, 20__ р.