

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

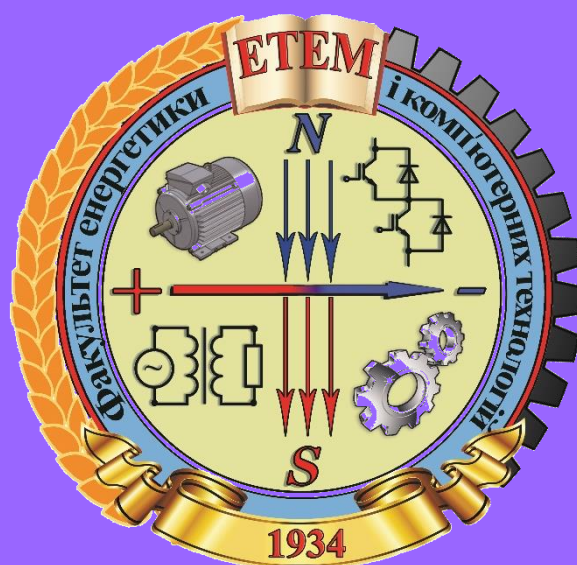
Кафедра «Електротехніка і електромеханіка
імені професора В.В. Овчарова»

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»



Мелітополь, 2020

УДК 621.3(075)

Основи електропривода: Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок енергетичних показників електропривода постійного струму» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / М.В. Постнікова, С.О. Квітка. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 22 с.

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

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

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова
Протокол №11 від 29 квітня 2020 р.

Затверджено методичною комісією факультету енергетики і комп'ютерних технологій ТДАТУ
Протокол №10 від 27 травня 2020 р.

© Постнікова М.В.
Квітка С.О.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Розрахунок енергетичних показників електропривода постійного струму	5
1 Мета роботи	5
2 Завдання для самостійної роботи	5
3 Програма роботи	5
4 Основні теоретичні положення	6
5 Вихідні дані	11
6 Приклад розрахунку	11
7 Вказівки щодо оформлення звіту	17
8 Контрольні питання	17
9 Список літератури	17
10 Критерії оцінювання практичної роботи	18
ДОДАТОК А Зразок оформлення титульного аркушу звіту з практичної роботи	20
ДОДАТОК Б Технічні дані двигунів постійного струму з незалежним збудженням	21
ДОДАТОК В Допустимі граничні температури нагрівання для ізоляційних матеріалів різних класів нагрівостійкості	22

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Основи електропривода» є профілюючою навчальною дисципліною за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» у закладах вищої освіти III - IV рівнів акредитації при підготовці фахівців ступеня вищої освіти «Бакалавр».

На практичному занятті студент повинен закріпити одержані теоретичні знання і набути практичних навичок з розрахунку електроприводів.

При виконанні практичних робіт з основ електропривода студент повинен самостійно вирішувати практичні інженерні задачі, вміти розраховувати енергетичні показники електропривода постійного струму.

Одержавши графік виконання практичних робіт з дисципліни, студент самостійно готується до кожної з них, вивчаючи відповідні розділи теоретичного матеріалу.

Перед виконанням практичної роботи викладач перевіряє готовність студента за темою практичного заняття, використовуючи контрольні питання, які приводяться в практичній роботі. Лише після перевірки викладачем ступеня підготовки студента до заняття, студент може виконувати практичну роботу.

Для роботи студент отримує варіант індивідуального завдання і необхідну нормативно-довідкову літературу. Студент самостійно виконує розрахунки відповідно до теми практичного заняття.

Після виконання необхідних розрахунків студент складає звіт по роботі, який вміщує всі фактичні дані (схеми, таблиці, графіки) та аналіз результатів розрахунку.

В кінці заняття студент повинен представити викладачу результати індивідуальної роботи за темою практичного заняття, при необхідності внести необхідні виправлення та одержати бали від викладача за свою роботу.

Практична робота

**РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

1 Мета роботи

Засвоєння студентами методики розрахунку енергетичних показників електропривода постійного струму.

2 Завдання для самостійної роботи

2.1 Опрацювати теоретичний матеріал: основні енергетичні показники роботи електропривода, втрати потужності при різних способах регулювання кутової швидкості в електроприводах постійного струму [1, с. 252-263; 4, с. 143-153; 5, с. 303-305].

2.2 Опрацювати теоретичний матеріал: втрати енергії в електроприводах постійного струму в гальмівних режимах роботи [1, с. 264-271; 2, с. 154-158; 3, с. 332-348; 4, с. 155-161; 5, с. 305-307].

2.3 Відповісти на контрольні питання.

3 Програма роботи

3.1 Для двигуна постійного струму розрахувати:

3.1.1 змінні втрати потужності двигуна на природній характеристиці;

3.1.2 змінні втрати потужності при використанні реостатного способу регулювання кутової швидкості двигуна при $n_{\text{розр.}} = 0,5n_{\text{н}}$;

3.1.3 змінні втрати потужності при регулюванні кутової швидкості двигуна напругою при $n_{\text{розр.}} = 0,5n_{\text{н}}$;

3.2 Розрахувати втрати енергії в якорному колі двигуна постійного струму при: пуску вхолосту, динамічному гальмуванні, гальмуванні противмиканням та реверсуванні.

4 Основні теоретичні положення

Енергетичні показники ЕП суттєво залежать від режиму його роботи, характеру зміни моменту навантаження і способів регулювання координат. Звичайно енергетичні показники нерегульованого і регульованого ЕП визначають окремо при їх роботі в усталеному і перехідному режимах.

Потужність P_1 , споживана електроприводом з мережі, витрачається на: реалізацію руху виконавчого органу робочої машини (ВОРМ) $P_M = M_M \cdot \omega_M$; зміну запасу кінетичної і потенціальної енергії в механічній частині ЕП; зміну запасу електричної енергії (ЕЕ) в ємностях та індуктивностях електричної частини; розсіювання у вигляді теплоти.

В теплоту перетворюються втрати: в обмотках електричного та електромеханічного перетворювачів і керуючих пристроїв; пов'язані з перемагнічуванням сталі; в ємностях; на тертя у механічній частині. Економічність роботи ЕП в будь-якому режимі характеризується відношенням виконаної механічної роботи до кількості електроенергії, спожитої з мережі

$$\eta_{\text{ц}} = \frac{A_{\text{мех}}}{A_{\text{ел}}} = \frac{\int_0^{T_{\text{ц}}} M_M(t) \omega_M(t) dt}{\int_0^{T_{\text{ц}}} P_1 dt}, \quad (1)$$

де $\eta_{\text{ц}}$ – цикловий ККД ЕП;

$T_{\text{ц}}$ – тривалість робочого циклу;

$A_{\text{мех}}, A_{\text{ел}}$ – корисна механічна робота і споживана з мережі електрична енергія;

P_1 – потужність, споживана електроприводом з мережі.

Приймаючи для окремих відрізків часу потужність сталою, замість формули (1) одержимо

$$\eta_{ц} = \frac{P_2}{P_1}, \quad (2)$$

де P_2 – потужність на валу електродвигуна.

При відомих значеннях ККД перетворювача електроенергії $\eta_{п.ел}$, двигуна $\eta_{дв}$ і механічних передач $\eta_{мех}$ вираз (2) буде мати такий вигляд

$$\eta = \eta_{п.ел} \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{мех}. \quad (3)$$

Потужність втрат у нерегульованому ЕП складається з потужності втрат у двигуні і механічній частині. Втрати потужності в механічній передачі $\Delta P_{мех}$ зумовлені в основному тертям у рухомих частинах. Ці втрати оцінюються величиною ККД, значення якого для різних видів передач і при різних навантаженнях є в довідковій літературі.

Втрати потужності у двигуні є сумою постійних ΔP_c і змінних ΔP_v втрат

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v. \quad (4)$$

Під постійними втратами потужності розуміють втрати потужності, що не залежать від струму двигуна. До них належать: втрати в сталі магнітопровода, на тертя в підшипниках, вентиляційні, в провідниках обмоток збудження ДПС та синхронних двигунів.

Під змінними втратами розуміють такі, які виникають у провідниках обмоток двигуна під час протікання по них струму навантаження.

Змінні втрати потужності у двигунах постійного струму визначаються

$$\Delta P_v = I^2 R_{дв} = I_H^2 R_{дв} \left(\frac{I}{I_H} \right)^2 = \Delta P_{vH} \left(\frac{I}{I_H} \right)^2 = \Delta P_{vH} K_3^2, \quad (5)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна, в.о.;

$\Delta P_{vH} = I_H^2 \cdot R_{дв}$ – втрати потужності в колі якоря при номінальному навантаженні, Вт;

$I_{\text{н}}$ – номінальний струм двигуна, А;

$R_{\text{дв}}$ – внутрішній опір кола якоря, Ом.

Змінні втрати потужності у двигунах різних типів визначають за однаковим виразом

$$\Delta P_{\text{в}} = \Delta P_{\text{вн}} K_3^2. \quad (6)$$

Повні втрати потужності в двигуні

$$\Delta P = \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{вн}} K_3^2 = \Delta P_{\text{вн}} \left(\frac{\Delta P_{\text{с}}}{\Delta P_{\text{вн}}} + K_3^2 \right) = \Delta P_{\text{вн}} (\alpha + K_3^2), \quad (7)$$

де $\alpha = \frac{\Delta P_{\text{с}}}{\Delta P_{\text{вн}}}$ – коефіцієнт втрат.

Величина α залежить від номінальної потужності та кутової швидкості і для ДПС НЗ знаходиться в межах 1...1,5.

Втрати потужності під час роботи двигуна в номінальному режимі, коли $K_3 = 1$, знаходять за паспортними даними двигуна

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}}. \quad (8)$$

Втрати потужності при холостому ході

$$\Delta P_0 = \Delta P_{\text{н}} \cdot \left(\frac{\alpha}{\alpha + 1} \right) = \frac{P_{\text{н}} \cdot \alpha \cdot (1 - \eta_{\text{н}})}{\eta_{\text{н}} \cdot (\alpha + 1)}. \quad (9)$$

Постійні втрати потужності

$$\Delta P_{\text{с}} = \Delta P_{\text{вн}}. \quad (10)$$

Повні втрати потужності при i -му навантаженні двигуна

$$\Delta P_i = P_i \cdot \frac{1 - \eta_i}{\eta_i}, \quad (11)$$

де η_i – ККД електродвигуна при навантаженні P_i .

Постійні втрати потужності в двигуні постійного струму складаються із втрат в колі збудження ΔP_3 , механічних ΔP_M і втрат у сталі $\Delta P_{ст}$. Механічні втрати і втрати в сталі можуть бути визначені за наближеною формулою

$$\Delta P_M + \Delta P_{ст} \approx (\Delta P_M + \Delta P_{ст})_H \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2, \quad (12)$$

де $(\Delta P_M + \Delta P_{ст})_H$ – втрати механічні і в сталі при номінальній кутовій швидкості.

Змінні втрати в якірному колі двигуна постійного струму

$$\Delta P_v = I_{я}^2 \cdot R_{дв} = M \cdot (\omega_{0p} - \omega), \quad (13)$$

де ω_{0p} – швидкість ідеального холостого ходу двигуна при його роботі на штучній (регульовальній характеристиці;

$I_{я}^2 \cdot R_{дв}$ – відповідно струм та опір якірного кола;

M – електромагнітний момент двигуна при кутовій швидкості ω .

При регулюванні швидкості ДПС НЗ реостатним способом кутова швидкість $\omega_{0p} = \omega_{0H}$, тому змінні втрати потужності зростають пропорційно

відносному перепаду швидкості $\delta = \frac{\omega_{0H} - \omega}{\omega_{0H}}$

$$\Delta P_v = M \cdot \omega_{0H} \cdot \delta, \quad (14)$$

а повні втрати в якірному колі двигуна визначаються за формулою

$$\Delta P_{дв} = \Delta P_3 + (\Delta P_M + \Delta P_{ст})_H \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2 + M \cdot (\omega_{0p} - \omega), \quad (15)$$

де ΔP_3 - втрати потужності в колі збудження.

Постійні втрати при зниженні швидкості зменшуються. Зміна сумарних втрат при цьому визначається співвідношенням постійних і змінних втрат для реального навантаження і конкретного двигуна.

При регулюванні швидкості ослабленням поля збудження двигуна при $P_M = const$ втрати в колі збудження ΔP_3 зменшуються внаслідок зменшення струму збудження. Разом з тим, в результаті збільшення швидкості зростають механічні втрати ΔP_M . Тому постійні втрати можна вважати незмінними, якщо $\Delta P_3 \approx \Delta P_M$. Крім того, коли $P_M = const$, $I_\gamma = I_{\gamma H} = const$, то й змінні втрати залишаються незмінними при різних швидкостях. Отже,

$$\Delta P = \Delta P_{ch} + \Delta P_{vh} \approx const,$$

тобто при регулюванні з постійною потужністю втрати в двигуні незмінні.

При регулюванні кутової швидкості ДПС зміною напруги при сталому моменті навантаження $M_c = M_H$ струм якоря залишається незмінним і дорівнює номінальному, разом з цим є незмінними та дорівнюють номінальним і змінні втрати, тобто $\Delta P_v = \Delta P_{vh}$.

Для визначення втрат енергії в перехідних процесах необхідно знати початкові та кінцеві умови динамічного режиму, які можна визначити із статичних механічних (електромеханічних) характеристик.

Втрати енергії *при пуску вхолосту* ($\omega_{поч} = 0$, $\omega_{кін} \approx \omega_0$) розраховуються за формулою

$$\Delta A_{20п} = J \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (16)$$

Отже, чисельно, втрати енергії дорівнюють запасу кінетичної енергії у механічній частині ЕП в кінці пуску.

Втрати енергії в якірному колі *при динамічному гальмуванні* і $M_c = 0$ ($\omega_{поч} = \omega_0$, $\omega_{кін} = 0$) розраховуються за формулою

$$\Delta A_{20д.г.} = J \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (17)$$

Втрати енергії *при гальмуванні противмиканням* при $M_c = 0$ ($\omega_{поч} = -\omega_0$,

$\omega_{\text{кін}} = 0$) розраховуються за формулою

$$\Delta A_{20\text{Г.П.В.}} = 3J \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (18)$$

Таким чином, втрати енергії під час гальмування противмиканням втричі більші, ніж втрати під час розгону або динамічному гальмуванні.

Втрати енергії *при реверсуванні* становлять

$$\Delta A_{20\text{Р}} = 4J \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (19)$$

У цьому випадку втрати дорівнюють сумі втрат при гальмуванні противмиканням і при розгоні.

5 Вихідні дані

Вихідні дані для виконання практичного заняття за варіантами наведені в додатку Б.

6 Приклад розрахунку

Для двигуна постійного струму з незалежним збудженням з технічними даними: номінальна потужність $P_{\text{н}} = 5,5$ кВт; номінальна напруга $U_{\text{н}} = 220$ В; номінальна частота обертання двигуна $n_{\text{н}} = 1000$ об/хв; опір якірної обмотки при температурі 15 °С $R_{\text{я}(15)} = 0,15$ Ом; клас нагрівостійкості ізоляції А; номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{н}} = 83,3$ %; сумарний приведений момент інерції двигуна $J_{\text{дв}} = 0,2$ кг·м², розрахувати: змінні втрати потужності в двигуні на природній характеристиці; змінні втрати потужності при використанні реостатного способу регулювання кутової швидкості двигуна при $n_{\text{розр.}} = 0,5n_{\text{н}}$; змінні втрати потужності при регулюванні кутової швидкості двигуна напругою на якорі двигуна при $n_{\text{розр.}} = 0,5n_{\text{н}}$ та величину напруги при регулюванні; втрати енергії в якірному колі двигуна постійного струму при

пуску вхолосту, при динамічному гальмуванні, гальмуванні противмиканням та реверсуванні.

6.1 Розрахуємо змінні втрати потужності в електродвигуні на природній характеристиці за формулою

$$\Delta P_{\text{H}} = I_{\text{ян}}^2 \cdot R_{\text{я}},$$

де $I_{\text{ян}}$ – номінальний струм якоря, А;

$R_{\text{я}}$ – опір обмотки якоря, Ом.

Номінальний струм якоря розраховуємо за формулою

$$I_{\text{ян}} = \frac{P_{\text{H}}}{U_{\text{H}} \cdot \eta_{\text{H}}},$$

де P_{H} – номінальна потужність електродвигуна, Вт;

U_{H} – номінальна напруга, В;

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

$$I_{\text{ян}} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,833} = 30 \text{ А.}$$

Приведемо опір якоря до робочої температури обмотки двигуна. Для класу нагрівостійкості А допустима гранична температура 105 °С (додатки Б, В).

Отже

$$R_{\text{я}(105)} = R_{\text{я}(15)} \cdot (1 + \gamma_{\text{міді}} \cdot \Theta),$$

де $R_{\text{я}(15)}$ – опір якорної обмотки при температурі 15 °С, Ом;

$\gamma_{\text{міді}}$ – температурний коефіцієнт міді, Ом/°С, $\gamma_{\text{міді}} = 0,004 \text{ Ом/°С}$;

Θ – різниця температур обмотки двигуна і повітря, °С.

$$\Theta = 105 - 15 = 90 \text{ °С};$$

$$R_{я(105)} = 0,15 \cdot (1 + 0,004 \cdot 90) = 0,2 \text{ Ом};$$

$$\Delta P_{\text{H}} = 30^2 \cdot 0,2 = 180 \text{ Вт}.$$

6.2 Розрахуємо змінні втрати потужності при використанні реостатного способу регулювання кутової швидкості двигуна при $n_{\text{розр.}} = 0,5n_{\text{H}}$.

Змінні втрати потужності при використанні реостатного способу регулювання кутової швидкості (при введенні додаткового опору у коло обмотки якоря) визначаємо за формулою

$$\Delta P_{\text{H}(R)} = I_{\text{ян}}^2 \cdot (R_{я(105)} + R_{\text{д}}),$$

де $R_{\text{д}}$ – активний опір додаткового резистора, Ом.

Визначимо величину активного опору додаткового резистора, при введенні якого $n_{\text{розр.}} = 0,5n_{\text{H}}$, з формули для штучної електромеханічної характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження

$$\omega = \frac{U_{\text{H}} - I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{д}})}{k\Phi_{\text{H}}},$$

де $\omega = \omega_{\text{розр.}}$ – розрахункова кутова швидкість штучної механічної характеристики, рад/с;

k – постійний коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей двигуна, 1/рад;

Φ_{H} – номінальний магнітний потік, Вб.

Значення коефіцієнта магнітного потоку визначаємо за формулою

$$k\Phi_{\text{H}} = \frac{U_{\text{H}} - I_{\text{ян}} \cdot R_{я(105)}}{\omega_{\text{H}}},$$

де ω_{H} – номінальна кутова швидкість, рад/с;

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30};$$

$$\omega_H = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,67 \text{ рад/с};$$

$$k\Phi_H = \frac{220 - 30 \cdot 0,2}{104,67} = 2,04 \text{ Вб/рад};$$

$$\omega_{\text{розр.}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{розр.}}}{30} = \frac{\pi \cdot 0,5n_H}{30};$$

$$\omega_{\text{розр.}} = \frac{3,14 \cdot 0,5 \cdot 1000}{30} = 51,67 \text{ рад/с};$$

Отже, з формули

$$\omega = \frac{U_H - I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{д}})}{k\Phi_H}$$

визначаємо активний опір додаткового резистора

$$\omega_{\text{розр.}} = \frac{U_H - I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}(105)} + R_{\text{д}})}{k\Phi_H} = \frac{U_H - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}(105)} + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{д}}}{k\Phi_H};$$

$$R_{\text{д}} = \frac{U_H - k\Phi_H \cdot \omega_{\text{розр.}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}(105)}}{I_{\text{я}}};$$

$$R_{\text{д}} = \frac{220 - 2,04 \cdot 51,67 - 30 \cdot 0,2}{30} = 3,62 \text{ Ом.}$$

Визначаємо змінні втрати потужності при використанні реостатного способу регулювання кутової швидкості

$$\Delta P_{\text{H}(R)} = 30^2 \cdot (0,2 + 3,62) = 3438 \text{ Вт.}$$

6.3 Розрахуємо змінні втрати потужності при регулюванні кутової швидкості двигуна напругою на якорі двигуна та величину напруги при регулюванні при $n_{\text{розр.}} = 0,5n_{\text{н}}$.

З рівняння електромеханічної характеристики

$$\omega = \frac{U - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}}}{k\Phi_{\text{н}}},$$

де $\omega = \omega_{\text{розр.}}$ – розрахункова кутова швидкість штучної механічної характеристики, рад/с;

$U = U_{\text{розр.}}$ – напруга штучної електромеханічної характеристики, В,

знайдемо величину напруги при регулюванні.

Отже,

$$\omega_{\text{розр.}} = \frac{U_{\text{розр.}} - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}(105)}}{k\Phi_{\text{н}}};$$

$$U_{\text{розр.}} = \omega_{\text{розр.}} \cdot k\Phi_{\text{н}} + I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}(105)};$$

$$U_{\text{розр.}} = 51,67 \cdot 2,04 + 30 \cdot 0,2 = 111,4 \text{ В.}$$

Розрахуємо змінні втрати потужності в електродвигуні при регулюванні напругою на якорі двигуна з кутовою швидкістю $\omega_{\text{розр.}} = 51,67$ рад/с.

$$\Delta P_{\text{н}(U)} = I_{\text{ян}}^2 \cdot R_{\text{я}},$$

$$\Delta P_{\text{н}(U)} = 30^2 \cdot 0,2 = 180 \text{ Вт.}$$

6.4 Розрахуємо втрати енергії в якірному колі двигуна постійного струму при пуску вхолосту, динамічному гальмуванні, гальмуванні противмиканням та реверсуванні.

Втрати енергії в якірному колі при пуску вхолосту визначаємо за виразом

$$\Delta A_{\text{п}} = J \cdot \frac{\omega_0^2}{2},$$

де J – сумарний приведений момент інерції, кг·м²;

ω_0 – синхронна кутова швидкість, рад/с.

Синхронну кутову швидкість знаходимо за формулою

$$\omega_0 = \frac{U_H}{k\Phi_H};$$

$$\omega_0 = \frac{220}{2,04} = 107,84 \text{ рад/с};$$

$$\Delta A_{\Pi} = 0,2 \cdot \frac{107,84^2}{2} = 1163 \text{ Дж} = 1,163 \text{ кДж}.$$

Втрати енергії при динамічному гальмуванні дорівнюють

$$\Delta A_{\text{д.г.}} = J \frac{\omega_0^2}{2};$$

$$\Delta A_{\text{д.г.}} = 0,2 \cdot \frac{107,84^2}{2} = 1163 \text{ Дж} = 1,163 \text{ кДж}$$

Втрати енергії при гальмуванні противмиканням визначаємо за формулою

$$\Delta A_{\text{г.п.в.}} = 3J \frac{\omega_0^2}{2};$$

$$\Delta A_{\text{г.п.в.}} = 3 \cdot 0,2 \cdot \frac{107,84^2}{2} = 3488,54 \text{ Дж} = 3,49 \text{ кДж}.$$

Втрати енергії при реверсуванні становлять

$$\Delta A_{20p} = 4J \frac{\omega_0^2}{2};$$

$$\Delta A_p = 4 \cdot 0,2 \cdot \frac{107,84^2}{2} = 4651,8 \text{ Дж} = 4,652 \text{ кДж}.$$

7 Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт з практичної роботи повинен мати:

- 1 Варіант індивідуального завдання.
- 2 Розрахункові формули для виконання практичної роботи.
- 3 Аналіз отриманих результатів.

8 Контрольні питання

- 1 Назвіть основні енергетичні показники електропривода.
- 2 Чим характеризується економічність роботи електропривода?
- 3 Що таке постійні і змінні втрати потужності в електроприводі?
- 4 Як знайти втрати потужності при номінальному режимі двигуна і при холостому ході?
- 5 З чого складаються постійні втрати потужності в двигуні постійного струму з незалежним збудженням в регульованому електроприводі?
- 6 Як визначаються повні втрати потужності при регулюванні швидкості двигуна постійного струму з незалежним збудженням?
- 7 Вкажіть шляхи зменшення втрат енергії в електроприводах.

9 Список літератури

- 1 Електропривод: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко [та інш.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: «Ліра-К», 2009. – 504 с.
- 2 Електропривод: ч.1 / О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; За ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 208 с.
- 3 Чиликин М.Г. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.
- 4 Електропривод: Навчальний посібник / О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, Ільїчов; За ред. О.Ю. Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. – 586 с.

5 Фролов Ю.М. Сборник задач и примеров решений по электрическому приводу: Учебное пособие / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 368 с.

6 Назар'ян Г.Н. Технічні характеристики та якісні показники електричних двигунів. Довідниковий посібник./ Г.Н. Назар'ян, Ю.М. Федюшко, О.В. Сотнік, О.В. Ковальов. - Х.: ТОВ «Планета-принт», 2016. - 201 с.

10 Критерії оцінювання практичної роботи

Кількісна оцінка за виконання практичної роботи визначається за наступними показниками:

1 вхідний контроль за темою практичного заняття, за який максимально можна отримати 20 % від загальної кількості балів за практичну роботу;

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

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

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

Підготовка та оформлення звіту з практичної роботи здійснюється студентом безпосередньо на практичному занятті. Отримана кількість балів за нього визначається пропорційно вірно виконаним пунктам звіту.

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

Практична робота вважається виконаною позитивно, якщо студент у підсумку отримав не менше, ніж 60 % балів. У протилежному випадку студент зобов'язаний підвищити бал за практичну роботу у відведений термін під час консультації викладача, який її проводив. Підвищення рейтингу полягає у виконанні певних завдань щодо практичної роботи: вхідний контроль,

підготовка та оформлення звіту, вихідний контроль. Підвищити рейтинг з практичної роботи можна не більше, ніж до 60 % балів.

У разі пропуску практичного заняття студент повинен його відпрацювати у відведений термін під час консультації викладача, який його проводив. Якщо практичне заняття пропущене з поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимальну кількість балів. Якщо практичне заняття пропущене без поважної причини, то студент може отримати за результатами відпрацювання максимум 60 % балів.

ДОДАТОК А

(Обов'язковий)

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ТИТУЛЬНОГО АРКУШУ ЗВІТУ

З ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

ПРАКТИЧНА РОБОТА

з дисципліни «Основи електропривода»

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

ЗВІТ

Студент _____ групи

(підпис)

П.І.Б.

Службові примітки

Роботу захищено з оцінкою _____

Викладач _____

(підпис)

П.І.Б.

Мелітополь, 20__

ДОДАТОК Б

Технічні дані двигунів постійного струму з незалежним збудженням

Варіант	Тип двигуна	Потужність, P , кВт	Напруга, U , В	Номінальна частота обертання, n_n , об/хв.	ККД, η_n , %	Опір обмотки якоря при 15 °С, Ом	Момент інерції, J , кг·м ²	Клас нагріво-стійкості ізоляції
1	2ПБ160МУХЛ4	2,1	220	750	76,5	0,99	0,083	F
2	2ПН160МУХЛ4	3	220	750	76,5	0,73	0,083	B
3	2ПФ160МУХЛ4	4,2	220	750	73	0,516	0,083	B
4	2ПН180МУХЛ4	5,6	220	750	79	0,338	0,2	B
5	2ПН180ЛУХЛ4	7,1	220	750	80,5	0,26	0,23	B
6	2ПФ160МУХЛ4	4,2	110	800	74,5	0,11	0,083	B
7	2ПН200МУХЛ4	8,5	220	800	82	0,182	0,25	B
8	2ПБ160МУХЛ4	2,5	220	1000	80	0,59	0,083	F
9	2ПФ160МУХЛ4	6	220	1000	79	0,326	0,083	B
10	2ПН180МУХЛ4	8	110	1000	81,5	0,058	0,2	B
11	2ПН180ЛУХЛ4	10	110	1000	82,5	0,042	0,23	B
12	2ПН180ЛУХЛ4	10	220	1000	82,5	0,168	0,23	B
13	2ПН180МУХЛ4	8	220	1060	83	0,181	0,2	B
14	2ПБ160МУХЛ4	4,2	220	1500	84,5	0,326	0,083	F
15	2ПФ160МУХЛ4	7,5	220	1500	83	0,145	0,083	B
16	2ПН180МУХЛ4	15	220	1500	86	0,338	0,2	B
17	2ПН180ЛУХЛ4	18,5	220	1500	87	0,065	0,23	B
18	2ПН200МУХЛ4	22	220	1500	87,5	0,046	0,25	B
19	2ПН160МУХЛ4	7,5	110	1600	83	0,037	0,083	B
20	2ПБ160МУХЛ4	6	220	2120	86,5	0,145	0,083	F
21	2ПН200МУХЛ4	36	220	2200	88,5	0,025	0,25	B
22	2ПФ160МУХЛ4	13	220	2240	87	0,081	0,083	B
23	2ПН180МУХЛ4	26	220	2450	88	0,038	0,2	B
24	2ПБ160МУХЛ4	7,1	220	3000	85,5	0,081	0,083	F
25	2ПФ160МУХЛ4	16	220	3150	87	0,037	0,083	B

ДОДАТОК В

Допустимі граничні температури нагрівання для ізоляційних матеріалів різних класів нагрівостійкості

Клас нагрівостійкості ізоляції	Допустима гранична температура, °С	Короткий перелік основних груп ізоляційних матеріалів
У	90	Непросочені і не занурювані в рідкий електроізоляційний матеріал. Волоконні матеріали з целюлози, бавовни або натурального, штучного і синтетичного шовку, а також відповідні даному класу інші матеріали та інші сполучення матеріалів
А	105	Волоконні матеріали з целюлози, бавовни або натурального, штучного і синтетичного шовку, просочені рідким електроізоляційним матеріалом
Е	120	Синтетичні органічні матеріали (плівки, волокна, смоли, компаунди та ін.)
В	130	Матеріали на основі слюди (у тому числі на органічних підкладках), азбесту і скловолокна, що застосовуються з органічними зв'язуючими і просочуючими сполуками
F	155	Матеріали на основі слюди, азбесту і скловолокна, що застосовуються із синтетичними зв'язуючими і просочуючими сполуками, які відповідають даному класу нагрівостійкості
Н	180	Матеріали на основі слюди, азбесту і скловолокна у сполученні з кремнійорганічними зв'язуючими і просочуючими сполуками, кремнійорганічні еластomers
С	200	Слюда, керамічні матеріали, скло, кварц або їх комбінації без зв'язуючих або з неорганічними і елементоорганічними сполуками
	220	
	250	

