

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ

методичні рекомендації

для підготовки до практичних робіт для здобувачів початкового рівня
(короткий цикл) вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв

2024

УДК 621.3

E50

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією Інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 05.02.2024, протокол № 5.

Укладачі:

Віталій Мардзявко – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Андрій Руденко – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Олександр Циганов – канд. тех. наук, сташ. виклд. кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Андрій Ставинський – д-р техн. наук, професор, зав. кафедрою електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний
аграрний університет, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. Механічні характеристики робочих машин.....	6
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. Перехідни процес в електроприводі, розрахунок часу пуску та зупинки електродвигуна	13
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3. Визначення потужності та електродвигуна для виробничого механізму.....	17
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4. Розрахунок характеристики коронного розряду.	23
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5. Розрахунок параметрів та вибір установок прямого нагрівання опором	28
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6. Розрахунок основних геометричних розмірів зварювального трансформатора	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ.....	47
ДОДАТОК.....	49

ВСТУП

В даний час є багато машин і механізмів, що виконують однакові або аналогічні операції технологічних процесів в різних галузях промисловості. Такі машини і механізми можна об'єднати в типові функціональні групи, наприклад різального, підйомна-транспортного та іншого обладнання. Більшість виробничих робочих машин і механізмів приводиться в рух електричними двигунами. Двигун разом з механічними пристроями (редуктори, трансмісії, кривошипна-шатунні механізми та ін.), утворюють електромеханічну систему і служать для передачі руху робочому органу машини, а також пристроям керування і контролю. Тому дисципліна "Електротехнічні системи та комплекси" призначена для ознайомлення здобувачів початкового (короткий цикл) рівня вищої освіти із сучасними проблемами створення електротехнічних комплексів, масового регульованого електроприводу, високоточних електроприводів змінного струму та різновидностями електротехнологічних систем. Програмою дисципліни передбачено вивчення електромеханічних і електротехнологічних систем, їх класифікація, призначення та способи регулювання.

Дисципліна "Електротехнічні системи та комплекси" є однією з профільюючих для здобувачів початкового (короткий цикл) рівня вищої освіти спеціальності 141, «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою дисципліни «Електротехнічні системи та комплекси» є ознайомлення здобувачів початкового рівня вищої освіти із сучасними електромеханічними та електротехнологічними комплексами, проблемами їх створення, регулювання і захисту.

Завданнями навчальної дисципліни є:

- озброїти майбутнього спеціаліста знаннями сучасних принципів управління автоматизованими електроприводами загальнопромислових механізмів, основою теорії та практики створення електромеханічних систем;

- ознайомити з методами вибору систем електроприводу та сучасними тенденціями його розвитку та вдосконалення;

- ознайомити з структурою та основою технологічних систем.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач початкового рівня вищої освіти повинен знати: принципи роботи, технічні характеристики, конструктивні особливості електричних приводів, що розробляються і використовуються; методи та способи проведення робіт з технічного обслуговування електроприводів; методи створення та аналізу, теоретичних моделей, що дозволяють прогнозувати характеристики поведінки електричних приводів;

Вміти: проводити випробування та визначати працездатність встановленого та ремонтного обладнання; вибирати електроприводи у процесі експлуатації, процесі проектування з використанням інформаційних технологій; розробляти плани випробувань електричних приводів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Тема: Механічні характеристики робочих машин

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою розрахунку та побудови механічної характеристики на прикладі відцентрового електронасосу

1.1 Теоретичні відомості

Високопродуктивний, надійний і економічно вигідний тільки такий виробничий агрегат, у якого приводний електродвигун має електромеханічні властивості, що відповідають характеристикам і технологічним вимогам робочої машини. Найважливішими характеристиками двигунів і робочих машин є їх механічні характеристики.

Механічною характеристикою робочої машини називають залежність моменту статичних опорів від кутової швидкості її приводного вала $M_c(\omega)$. Механічні характеристики робочих машин описують такою емпіричною формулою:

$$M_c = M_o + (M_{сн} - M_o) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^x$$

де M_c – момент опору при швидкості ω , Н·м; M_o – момент опору тертя в рухомих частинах, який не залежить від швидкості, Н·м; $M_{сн}$ – момент опору при номінальній швидкості $\omega_{ном}$, Нм; x – показник степеня, що характеризує зміну статичного моменту при зміні швидкості.

Незважаючи на різноманітність робочих машин, їх механічні характеристики орієнтовно можна поділити на такі групи:

1. Незалежна від швидкості механічна характеристика (пряма 1, рис. 1.1). При цьому $x = 0$ і момент опору M_c не залежить від швидкості. Такі

механічні характеристики мають підйомні крани, стрічкові конвеєри, поршневі насоси, лебідки тощо.

2. Прямолінійно-зростаюча механічна характеристика (пряма 2, рис. 1.1). У цьому випадку $x = 1$ і момент опору M_c лінійно залежить від швидкості. Таку механічну характеристику має, наприклад, генератор постійного струму з незалежним збудженням, який працює з незмінним зовнішнім навантаженням.

3. Нелінійно-зростаюча (параболічна) механічна характеристика (крива 3, рис. 1.1). У цьому випадку $x = 2$ і момент опору M_c пропорційний квадрату швидкості.

Параболічні механічні характеристики мають робочі машини, що працюють за відцентровим принципом: вентилятори, відцентрові насоси, гребні гвинти тощо. Тому ці характеристики називають також вентиляторними.

4. Нелінійно-спадаючі механічні характеристики (крива 4, рис. 1.1). У цьому випадку $x = -1$ і момент опору M_c обернено пропорційний швидкості, а потужність, споживана робочою машиною, залишиться сталою.

Нелінійно-спадаючі механічні характеристики мають деякі токарні, розточувальні та фрезерні верстати тощо.

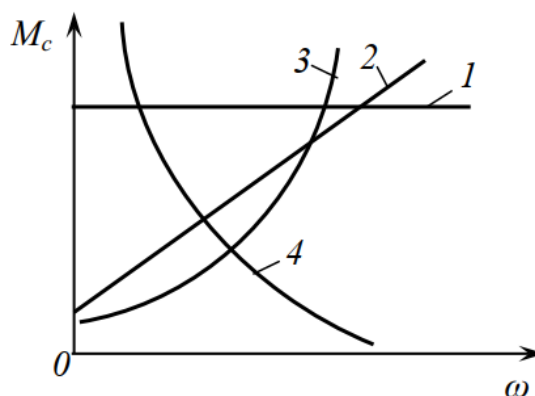


Рис. 1.1. – Механічні характеристики робочих машин

Механічною характеристикою електродвигуна обертального руху називають залежність кутової швидкості його вала від обертового моменту.

Механічні характеристики можуть бути природними і штучними. Природною механічною характеристикою електродвигуна називають залежність швидкості обертання двигуна від створюваного ним моменту при номінальних параметрах живильної мережі (номінальних значеннях напруги і частоти), номінальному магнітному потоці і при відсутності додаткових опорів у колі якоря (ротора, статора).

Якщо природна механічна характеристика не задовольняє тих або інших вимог виробничого механізму, двигун переводять в роботу штучних механічних характеристиках. Вони є залежністю кутової швидкості двигуна від його моменту, але при неномінальних параметрах.

Електромеханічною характеристикою електродвигуна називають залежність його кутової швидкості від струму якоря.

Електродвигуни можуть працювати в двигунному режимі, приводячи в рух робочі машини, та в гальмівних режимах. Майже всі електродвигуни характеризуються тим, що у двигунному режимі роботи при збільшенні обертального моменту кутова швидкість зменшується, а в гальмівних – при збільшенні швидкості гальмівний момент зростає.

Величина зміни швидкості при зміні моменту різних двигунів неоднакова і залежить від коефіцієнта жорсткості β механічної характеристики:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega},$$

Для прямолінійних механічних характеристик диференціали dM і $d\omega$ можна відповідно замінити скінченними приростами ΔM і $\Delta\omega$, тоді:

$$\beta = \frac{M_1 - M_2}{\omega_1 - \omega_2} = \frac{\Delta M}{\Delta\omega}$$

Абсолютно жорсткою (рис. 1.2, пряма 1), $\beta = \infty$, називають механічну характеристику, при якій із зміною обертального моменту швидкість двигуна не змінюється. Таку характеристику мають синхронні двигуни.

Жорстка (рис. 1.2, пряма 2) – механічна характеристика, коли із зміною обертального моменту в широких межах кутова швидкість двигуна змінюється дуже мало. Таку характеристику мають електродвигуни постійного струму незалежного (паралельного) збудження та асинхронні двигуни, що працюють при ковзаннях, менших від критичного (рис. 1.2, крива 3).

М'якою (рис. 1.2, крива 4) називають механічну характеристику, де невелика зміна обертального моменту викликає значну зміну швидкості двигуна (електродвигуни постійного струму послідовного збудження).

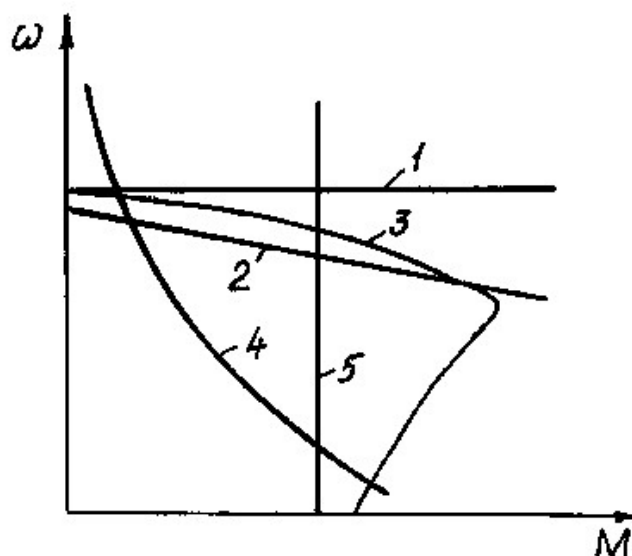


Рис.1.2. – Механічні характеристики електродвигунів

Абсолютно м'якою (рис. 1.2, пряма 5) називають механічну характеристику, коли момент двигуна при зміні швидкості залишається сталим ($\beta = 0$). Таку характеристику мають електродвигуни постійного струму незалежного збудження при живленні їх від джерела струму або при

роботі у замкнених системах електропривода у режимі стабілізації струму якоря.

Жорсткі і м'які механічні характеристики мають від'ємний коефіцієнт жорсткості, тобто $\beta < 0$. На неробочій частині характеристики асинхронного двигуна (рис. 1.3, а, б) при ковзаннях, більших від критичного, коефіцієнт $\beta > 0$.

1.2 Приклад виконання практичного завдання

Завдання: Розрахувати та побудувати механічну характеристику відцентрового насоса КМ90/20, у якого номінальна частота обертання $n_n = 2900$ об/хв, продуктивність $Q = 90$ м³/год, напір $H = 20$ м, ККД = 78%, момент зрушення $M_0 = 0,05 M_{с.ном}$. Густина води $\gamma = 1000$ кг/м³.

1. Потужність насоса:

$$P_{ном} = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H \cdot g}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_{ном}} = \frac{90 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 9,81}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,78} = 6,3 \text{ кВт},$$

2. Номінальний момент:

$$M_{сн} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n_{ном}} = \frac{9550 \cdot 6,3}{2900} = 20,7 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

3. Момент зрушення:

$$M_0 = 0,05 \cdot M_{сн} = 0,05 \cdot 20,7 = 1 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

4. Номінальна кутова швидкість обертання:

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2900}{30} = 303 \text{ рад/с},$$

5. Рівняння механічної характеристики:

$$M_c = M_o + (M_{сн} - M_o) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2 = 1 + (20,7 - 1) \cdot \left(\frac{\omega}{303} \right)^2$$

6. Розраховуємо параметри механічної характеристики, дані заносимо в таблицю 1.1 і на рис. 1.3 будуємо графік $M=f(\omega)$:

«Розрахунок механічної характеристики насоса КМ 90/20»

ω , рад/с	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
М, Н·м	1,0	1,2	1,8	2,7	4,1	5,8	8	10,5	13,4	16,6	20,3	24,4

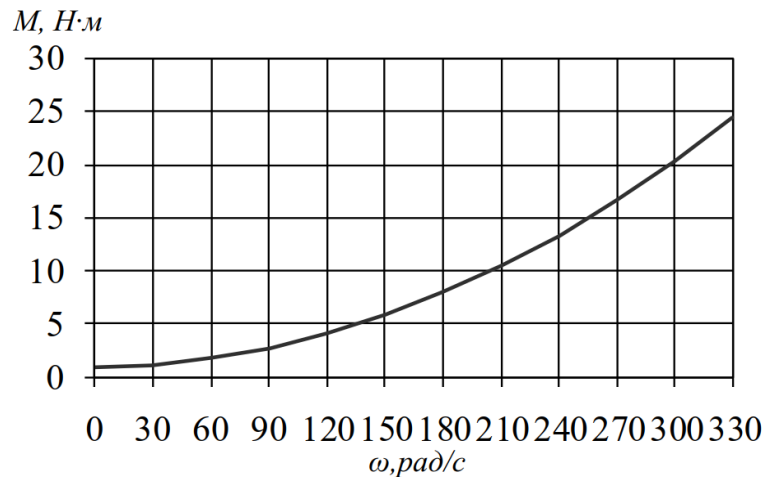


Рис. 1.3. – Механічна характеристика насоса КМ 90/20

1.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;
3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом (див. табл. 1.2);
4. Відповісти на контрольні питання.
5. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.
6. Зробити висновок про виконану роботу.

1.4 Контрольні питання

1. Які переваги над іншими системами має електропривід?

2. Що таке механічна характеристика?
3. Як записується рівняння механічної характеристики робочої машини?
4. Як класифікуються сучасні електроприводи?
5. Які елементи електроприводу ви знаєте? Їх призначення?

Таблиця №1.2

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №1»

№ Вар.	Марка насосу	Q , м ³ /год	H , м	n_n , об/хв	P_n , кВт	ККД
1	насос К 8-18	8	18	3000	1,5	58
2	насос К8-18	8	18	3000	2,2	61
3	насос К 20-18	20	18	3000	2,2	61
4	насос К 20-30	20	30	3000	4	78
5	насос К20-30а	18	25	3000	3	72
6	насос К 45-30	45	30	3000	7,5	73
7	насос К 45-30а	35	22	3000	5,5	79
8	насос К 90-20	90	20	3000	7,5	85
9	насос К 50-32-125	12,5	20	3000	2,2	80
10	насос К 65-50-125	25	20	3000	3	90
11	насос К 65-50-160	25	32	3000	5,5	95
12	насос К 80-65-160	50	32	3000	7,5	96
13	насос К 80-50-200	50	50	3000	15	92
14	насос К 80-50-200а	45	40	3000	11	95
15	насос К 100-80-160	100	32	3000	15	97

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Тема: Перехідний процес в електроприводі, розрахунок часу пуску та зупинки електродвигуна

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою розрахунку часу пуску та зупинки електродвигуна

2.1 Теоретичні відомості

Перехідним режимом роботи електроприводу називається режим переходу від одного сталого стану до іншого. Перехідні процеси в електроприводі виникають, наприклад, при пуску двигуна, реверсі, гальмуванні, скиданні або набиранні навантаження, зміні параметрів двигуна. У перехідних процесах взаємозалежно змінюються швидкість двигуна, його ток, момент і ЕРС.

Від протікають по обмотках двигуна струмів в них виникають втрати, і обмотки якоря і збудження нагріваються. Процес нагріву двигуна зазвичай вельми тривалий, тому при дослідженні перехідних процесів струму та швидкості тепловими перехідними процесами зазвичай нехтують, вважаючи активні опори двигуна постійними.

Електромеханічні і електромагнітні перехідні процеси в сучасних електроприводах протікають за порівнянне час, і при дослідженні перехідних режимів їх необхідно враховувати. Тим більше що всі параметри для розрахунку таких перехідних процесів наводяться в довідкових даних по електричним машинам, а сучасне програмне забезпечення дозволяє провести розрахунки без істотних тимчасових витрат. Однак є ціла група електроприводів з релейно-контакторних управлінням, в яких електромагнітні перехідні процеси протікають за дуже короткий час і ними так само можна знехтувати.

Для розрахунку та дослідження перехідного процесу електроприводу в першу чергу необхідно навчитися визначати час перехідного процесу (пуску та зупинки). Час перехідного процесу при зміні часу від значення ω_1 до ω_2 , визначається виразом:

$$t_{1-2} = J \cdot \frac{\omega_2 - \omega_1}{M_{дин}}, \text{ с.}$$

де J – величина, що приведена до валу двигуна.

Для визначення величину динамічного моменту двигуна при пуску та при різних видах гальмування, розберемо приклад розрахунку перехідного процесу електродвигуна.

2.2 Приклад виконання практичного завдання

Завдання: Визначити параметри пуску та гальмування двигуна, працюючого з реактивним статичним навантаженням, яке дорівнює 0,8 від номінальної, якщо середній пусковий момент, який розвиває двигун рівний 1,7 від номінального, двигун гальмує в режимі проти вмикання. Початковий гальмівний момент дорівнює 2,2 номінального, а кінцевий гальмівний момент – 1,2 від номінального, момент інерції обертаючих частин, який знаходиться на валу електродвигуна рівний – 0,3 кг·м². Коефіцієнт δ який враховує момент інерції обертових частин системи які не знаходяться на валу двигуна, рівні – 1,15.

Номінальні показники двигуна: Потужність 32 кВт; швидкість обертання 80 об/хв.; момент інерції 1,87 кг·м². Механічна характеристика – жорстка. Необхідно визначити час пуску – $t_{пуск}$ та час гальмування – $t_{галь}$.

Дано: $P_n = 3,2$ кВт; $\omega_n = 80$ об/х; $J_d = 1,87$ кг·м²; $J_1 = 0,3$ кг·м²; $\delta = 1,15$;
 $M_c = 0,8 \cdot M_n$; $M_{ср.пуск} = 1,7 \cdot M_n$; $M_{пoc.галь} = 2,2 \cdot M_n$; $M_{кін.галь} = 1,2 \cdot M_n$.

1. Момент інерції який приведений до валу двигуна, визначаємо за виразом:

$$J_{np} = \delta \cdot (J_0 + J_1) = 1,15 \cdot (1,87 + 0,3) = 2,5, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

2. Номінальний момент двигуна:

$$M_n = 10^3 \cdot \frac{P_n}{\omega_n} = 10^3 \cdot \frac{32}{80} = 400, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3. Статичний момент двигуна:

$$M_c = 0,8 \cdot M_n = 0,8 \cdot 400 = 320, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4. Динамічний момент двигуна:

а) при пуску двигуна:

$$M_{\text{дин.пуск}} = M_{\text{ср.пуск}} - M_c = 1,7 \cdot M_n - 0,8 \cdot M_n = 0,9 \cdot M_n$$

$$M_{\text{дин.пуск}} = 0,9 \cdot 400 = 360, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

б) при гальмуванні, відповідно до правил визначення знаків моментів за правилом спів падання з обертанням:

$$M_{\text{дин.торм}} = M_{\text{ср.торм}} - M_c = -(M_{\text{ср.торм}} - M_c);$$

де

$$M_{\text{ср.торм}} = \frac{M_{\text{нач.торм}} + M_{\text{кон.торм}}}{2} = \frac{2,2M_n + 1,2M_n}{2} + 1,7 \cdot M_n;$$

тоді

$$M_{\text{дин.торм}} = -(1,7 + 0,8) \cdot M_n = -2,5 \cdot M_n;$$

$$M_{\text{дин.торм}} = -2,5 \cdot 400 = -1000, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Час пуску двигуна:

$$t_{\text{пуск}} = J_{np} \cdot \frac{\omega_2 - \omega_1}{M_{\text{дин.пуск}}},$$

де ω_2 – швидкість обертання двигуна при навантаженні, яке відповідає статичному моменту. Так як за умовою механічна характеристика двигуна жорстка, то для практичних розрахунків необхідно прийняти:

$$\omega_2 = \omega_c \approx \omega_n,$$

ω_1 – початкова швидкість при пуску (с нерухомого стану).

Тоді

$$t_{\text{пуск}} = 2,5 \cdot \frac{80 - 0}{360} = 0,55, \text{ с.}$$

6. Час гальмування двигуна:

$$t_{\text{пуск}} = J_{\text{пр}} \cdot \frac{\omega_2 - \omega_1}{M_{\text{дин.пуск}}} = 2,5 \cdot \frac{0 - 80}{-1000} = 0,2, \text{ с.}$$

де ω_2 – кінцева швидкість при гальмуванні; $\omega_1 = \omega_2 \approx \omega_{\text{н}}$ – початкова швидкість з якої починається гальмування.

2.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;
3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом (див. табл. 2.1);
4. Відповісти на контрольні питання.
5. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.
6. Зробити висновок про виконану роботу.

2.4 Контрольні питання

1. Перерахуйте основні показники регульованих електроприводів.
2. Якими показниками характеризується якість динаміки електроприводу?
3. Перелічіть способи регулювання швидкості двигуна постійного струму незалежного збудження?
4. Що розуміють під параметричним керуванням електроприводів?
5. Переваги та недоліки параметричного керування електроприводів.

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи № 2»

№ вар.	P_H , кВт	ω_H , об/х	J_d , кг·м ²	J_l , кг·м ²
1	4,25	730	2	0,32
2	3	475	1,5	0,24
3	3,55	425	1,6	0,25
4	15	1400	1,7	0,27
5	7,5	1000	1,8	0,28
6	6	875	2	0,32
7	4,25	580	1,8	0,28
8	11	1060	1,87	0,3
9	8,5	875	1,56	0,26
10	8	600	1,7	0,273
11	11	800	1,9	0,31
12	8,5	515	2,1	0,34
13	15	850	2,2	0,35
14	11	530	2,2	0,36
15	15	580	3	0,48

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Тема: Визначення потужності та електродвигуна для виробничого механізму

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методикою вибору потужності електродвигуна для електроприводу при дотриманні встановлених вимог

3.1 Теоретичні відомості

При вивченні питання щодо визначення потужності та вибору електродвигуна необхідно засвоїти, що правильний вибір потужності двигунів має велике значення в народному господарстві.

Двигун, правильно вибраний за потужністю, повинен забезпечити виконання заданої роботи електроприводу при дотриманні нормального теплового режиму та допустимого механічного навантаження двигуна.

У більшості випадків вибір потужності відбувається по нагріванню, а потім він перевіряється по перевантажувальній здатності.

Методика розрахунку потужності двигуна визначається режимом його роботи. Необхідно уважно вивчити порядок розрахунку потужності при тривалому, повторно-короткочасному та короткочасному режимах роботи та вибір двигуна за каталогами.

При цьому необхідно пам'ятати, що рід струму двигуна визначається вимогами технологічного процесу, величина напруження - умовами електропостачання, виконання - умовами навколишнього середовища. Так як в умовах завдань на розрахунок потужності та вибір двигуна по каталогу не вказані то струми, величина напруження та виконання двигуна, то ними слід поставити самостійно.

3.2 Приклад виконання практичного завдання

Завдання: Двигун постійного струму паралельного збудження приводить у дію виробничий механізм із реактивним навантаженням. Графік навантаження $M = f(t)$ представлений на рис. 3.1. Розрахуйте потрібну потужність двигуна та виберіть двигун за каталогом.

Дано: Момент навантаження $M_1 = 98,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_2 = 48 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_3 = 196 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $M_4 = 147 \text{ Н}\cdot\text{м}$; Час роботи: $t_{p1} = t_{p3} = t_{p4} = 2 \text{ с.}$, $t_{p2} = 4 \text{ с.}$; Час зупинок $t_{z1} = t_{z2} = 10 \text{ с.}$; Час циклу $T_{\text{цик}} = 30 \text{ с.}$

Попередній вибір двигуна виконується за наступною методикою:

1. Визначаємо розрахункову тривалість вмикання двигуна за формулою:

$$ПВ_p = \frac{\sum t_{роб}}{T_{ц}} \cdot 100 = \frac{2+4+2+2}{30} \cdot 100 = 33,3\%$$

2. Еквівалентний момент робочого періоду:

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_{p1} + M_2^2 \cdot t_{p2} + M_3^2 \cdot t_{p3} + M_4^2 \cdot t_{p4}}{t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4}}}$$

$$M_{екв} = \sqrt{\frac{98,1^2 \cdot 2 + 48^2 \cdot 4 + 196^2 \cdot 2 + 147^2 \cdot 2}{2+4+2+2}} = 122, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

3. Наводимо еквівалентний момент до стандартного значення ПВ:

$$M_{екв.пр} = M_{екв} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_p}{ПВ_{ст}}}$$

де $ПВ_{ст}$ – стандартне значення ПВ, приймаємо $ПВ = 25\%$.

Тривалість включення визначається ДСТУ і виражається у відсотках або частках. ПВ: 15%; 25%; 40%; 60%; 100%. Тривалість включення 15% і 25% характеризує короткочасний режим роботи. Якщо ПВ лежить в межах від 25% до 60%, то це повторно-короткочасний режим роботи. Якщо ПВ більше 60% - це тривалий режим роботи. Залежно від режиму роботи по-різному можна обирати потужності двигуна.

Відповідно:

$$M_{екв.пр} = 122 \cdot \sqrt{\frac{33,3}{25}} = 139, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

4. Задаємося швидкістю обертання (за каталогом) та визначаємо еквівалентну попередню потужність:

$$\omega = 122 \text{ 1/с } (n = 1160 \text{ об/хв});$$

$$P_{екв.пр.} = M_{екв.пр.} \cdot \omega \cdot 10^{-3} = 139 \cdot 122 \cdot 10^{-3} = 17, \text{ кВт}$$

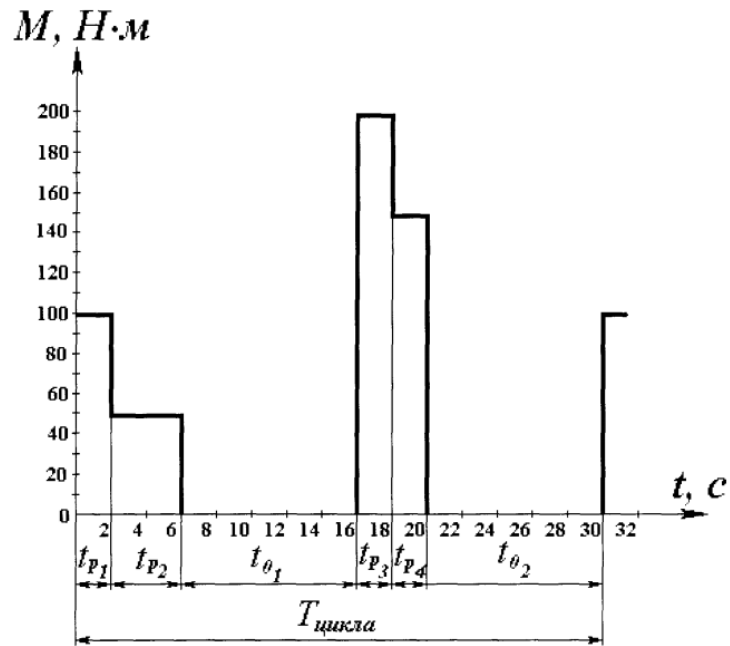


Рис. 3.1 – Навантажувальна діаграма двигуна

5. По каталогу на двигун повторно-короткочасному режимі при ПВ = 25% вибираємо двигун паралельного збудження ДП-41.

$$U_n = 220 \text{ В};$$

$$I_n = 114 \text{ А};$$

$$P_n = 22 \text{ кВт};$$

$$\omega_n = 122 \text{ 1/с};$$

$$J_n = 0,8 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

6. Обраний двигун перевіряємо на перевантажувальну здатність за умовою:

$$\lambda \geq \frac{M_{\text{макс.нагр.}}}{M_n},$$

де $M_{\text{макс.нагр.}} = 196 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} \cdot 10^3 = 182, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\lambda = 2,5 \geq \frac{196}{182} = 1,08$$

де λ – перевантажувальна спроможність двигуна, див. таблицю 3.1.

«Перевантажувальна спроможність двигуна»

Тип двигуна	Перевантажувальна здатність двигуна
Двигун постійного струму: - номінального виконання кранового та металургійного виконання:	2,5
- послідовного збудження	до 4
- змішаного збудження	до 3,5
- незалежного збудження	до 2,5
Асинхроні двигуни з короткозамкненим ротором нормального виконання	1,1 – 2,5
Короткозамкнуті двигуни з подвійною кліткою чи глибоким пазом	1,7 – 2,6
Асинхроні двигуни кранового та металургійного виконання:	2,3 – 3,6
Синхроні двигуни	2,0 – 2,5

Висновок: Обраний електродвигун проходить до перевантажувальній можливості, тому двигун підходить під встановлені умови роботи.

3.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;

3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом (див. табл. 3.2);
4. Відповісти на контрольні питання;
5. Оформити звіт відповідно до вимоги захисту та виконання практичних робіт;
6. Зробити висновок про виконану роботу.

3.4 Контрольні питання

1. Вирази для механічної та електромеханічної характеристик ДПС з різними способами збудження.
2. Рівняння балансу ДПС незалежного збудження для кола якоря.
3. Рівняння моментів електропривода у перехідному та усталеному режимах.
4. Методика розрахунку та побудови графіків електромеханічних та механічних характеристик ДПС у двигунному режимі.
5. Як визначається струм обмотки якоря ДПС незалежного збудження у різних режимах роботи двигуна?
6. Жорсткість механічної характеристики, як вона визначається та як впливає на діапазон регулювання швидкості.

Таблиця № 3.2

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №3»

№ ва р.	M_1 , Н·м	t_{p1} с	t_{31} с	M_2 , Н·м	t_{p2} с	t_{32} с	M_3 , Н·м	t_{p3} с	t_{33} с	M_3 , Н·м	t_{p3} с	t_{33} с	$T_{цикл}$ с
1	210	5	-	95	30	-	180	5	160	-	-	-	200
2	190	4	-	110	20	32	190	4	-	120	20	70	150
3	165	4	-	90	32	-	150	4	80	-	-	-	120
4	195	4	-	115	20	-	195	6	50	-	-	-	80

5	320	5	-	140	30	20	-	-	-	-	-	-	55
6	260	5	-	120	30	40	260	5	-	80	20	60	160
7	210	4	-	75	40	-	170	6	100	-	-	-	150
8	180	4	20	180	4	20	180	4	20	180	4	20	24
9	370	5	-	190	60	-	370	5	130	-	-	-	200
10	270	5	-	125	40	40	270	5	-	190	30	20	140

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Тема: Розрахунок характеристики коронного розряду

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методкою розрахунку коронного розряду

4.1 Теоретичні відомості

Газовим розрядом називається проходження електричного струму крізь газ. Обов'язковою умовою виникнення газового розряду є наявність у газі заряджених часток – іонів та електронів. Газ може іонізуватися під дією різноманітних факторів: сильний нагрів, короткохвильове та корпускулярне випромінювання тощо.

Газові розряди, що можуть відбуватися лише під дією зовнішніх іонізаторів, називаються несаможитливими.

Газові розряди, що зберігаються після припинення дії зовнішнього іонізатора, називаються саможитливими. Для виникнення саможитливого газового розряду необхідно, щоб напруженість електричного поля між електродами досягла певного граничного значення. Існує чотири основних типи саможитливих газових розрядів:

- тліючий;
- іскровий;
- коронний;
- дуговий.

Коронний розряд виникає в різко неоднорідному електричному полі поблизу електродів, що мають велику кривизну. Коли напруженість електричного поля біля електроду сягає 30 кВ/см, починається коронний розряд, який може супроводжуватися світінням навколо електроду.

В енергетиці струм коронного розряду має велике значення, оскільки в ньому полягає механізм втрат електричної енергії під час її транспортування лініями електропередачі.

У природних умовах коронний розряд виникає під дією атмосферної електрики на загострених верхівках різних об'єктів.

Напруженість електричного поля біля електроду прямо пропорційно залежить від прикладеного до нього електричного потенціалу та обернено пропорційно залежить від радіусу його кривизни. Отже, чим менший радіус кривизни електроду, тим меншу напругу необхідно до нього прикласти для виникнення коронного розряду.

Метою практичної роботи є засвоєння методики отримання вольт-амперних характеристик коронного розряду та їх аналіз. На рисунку 4.1 представлена експериментальна установка з дослідження коронного розряду.

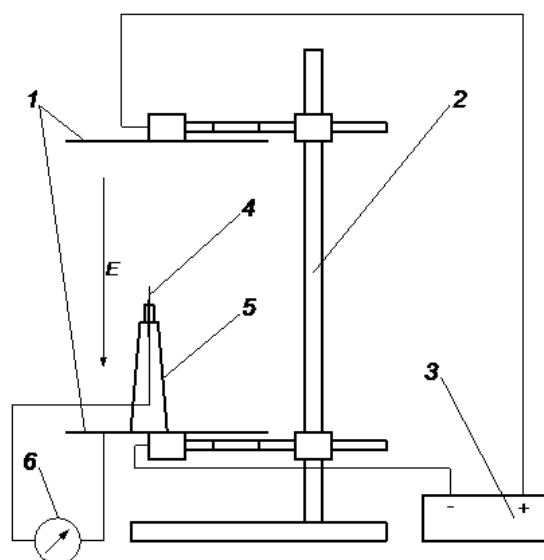


Рис. 4.1 – Схема експериментальної установки з дослідження коронного розряду: 1 - обкладки плоского конденсатора, 2 - лабораторний штатив, 3 -

високовольтне джерело живлення, 4 - електрод, 5 - діелектрична підставка електроду, 6 - мікроамперметр

Електричний потенціал електрода розраховується за формулою:

$$\varphi = U \cdot (h/L),$$

де U – напруга, прикладена до конденсатора; h – відстань від нижньої обкладинки до кінця електрода; L – відстань між обкладинками конденсатора.

Напруженість електричного поля біля електрода визначається за формулою:

$$E = \varphi/r,$$

де φ – електричний потенціал, прикладений до електрода; r – радіус загострення електрода.

4.2 Приклад виконання практичного завдання

Завдання: Розрахувати вольт-амперну характеристику коронного розряду та витрати електроенергії, якщо відомі діаметри внутрішнього d та зовнішнього D циліндричних електродів, а також їх довжина $h = 1$ м для середовища повітря з тиском p та температурою $t^\circ\text{C}$. Впливом вологості повітря та крайовими ефектами електродів можна нехтувати. Полярність внутрішнього електроду – від’ємна.

Розрахунок вольт-амперну характеристику коронного розряду та витрати електроенергії виконується за наступною методикою:

1. Знаходимо відносну густину повітря за формулою:

$$\delta = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} = \frac{p}{760} \cdot \frac{273 + 20}{273 + t},$$

2. Розраховуємо початкову напруженість електричного поля за формулою Піка:

$$E_0 = 30,3 \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,298}{\sqrt{r_0 \cdot \delta}} \right), \text{ кВ/см}$$

де $r_0 = d/2$ – радіус внутрішнього електроду, см.

3. Початкова напруга для заданих умов визначається за формулою:

$$U_0 = E_0 \cdot r_0 \cdot \ln \frac{D}{d}, \text{ кВ}$$

4. Струм коронного розряду для довжини електродів $h = 1 \text{ м} = 100 \text{ см}$ розраховується за виразом:

$$I = k \cdot G \cdot U \cdot (U - U_0) \cdot h,$$

де U – напруга на електродах ($U > U_0$), виражена у В; k – рухливість іонів, яка дорівнює $2,24 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$; G – геометричний фактор:

$$G = \frac{8 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}{\left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \ln\left(\frac{D}{2}\right)} \cdot \left(1 + 2,75 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{D}{2}} \right),$$

Якщо у формулах (I), (G) використовувати розміри в см, то $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см}$. Формула (I) придатна для умов завдання, якщо U менше пробивної напруги проміжку U_{np} , тобто, $U_0 < U < 150 \text{ кВ}$.

5. Побудувати графік залежності потужності втрат на корону $P = U \cdot I$ від напруги U для умов завдання.

4.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;
3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом;
4. Відповісти на контрольні питання.
5. Оформити звіт відповідно до вимоги захисту та виконання практичних робіт.

6. Зробити висновок про виконану роботу.

4.4 Контрольні питання

1. Що являє собою коронний розряд?
2. У чому трудність демонстрації коронного розряду?
3. Як називають процес проходження електричного струму через газ?
4. Як називають газовий розряд, що не потребує для свого підтримання зовнішнього іонізатора?
5. Якої шкоди завдають іскри й електрична дуга ножам рубильників, контактам вимикачів, струмозйомникам трамваїв, тролейбусів та електропоїздів?
6. Для чого використовується коронний розряд?

Таблиця № 4.1

«Варіанти вхідних даних для виконання розрахунків»

Варіант	d , см	D , см	h , см	p , мм. рт. ст.	t , °C
1	0,10	200	100	756	17
2	0,11	200	100	757	16
3	0,12	200	100	758	15
4	0,13	200	100	759	25
5	0,14	200	100	760	24
6	0,15	200	100	759	23
7	0,16	200	100	758	22
8	0,17	200	100	757	21
9	0,18	200	100	756	20
10	0,19	200	100	755	19
11	0,20	200	100	754	18

12	0,19	200	100	753	17
13	0,18	200	100	752	16
14	0,17	200	100	751	15
15	0,16	200	100	750	25

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Тема: Розрахунок параметрів та вибір установок прямого нагрівання опором

Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з сутністю електроконтактного та електродного нагрівання

5.1 Теоретичні відомості

1. Розрахунок параметрів понижуючого трансформатора установок електроконтактного нагрівання. Електроконтактне нагрівання є різновидом прямого нагрівання опором і застосовується для нагрівання матеріалів з електронною провідністю (метали, напівпровідники) (див. рис. 5.1).

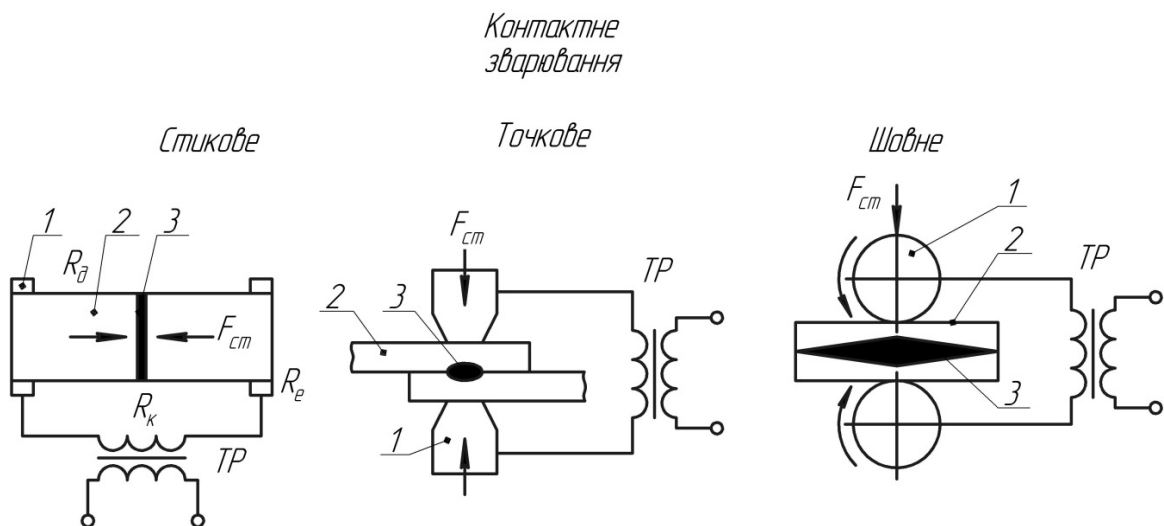


Рис. 5.1 – Види електроконтактного зварювання: 1 - охолоджувані водою електроди; 2 - деталі, що зварюються; 3 - місце зварювання

Так як активний опір металевих тіл незначний, для прямого їх нагрівання необхідний значний струм (сотні та тисячі ампер) при низькій напрузі 5-25 В. В установках електроконтактного нагрівання переважно застосовується змінний струм. Це зумовлено відносною простотою отримання низької напруги за допомогою понижуючих трансформаторів та можливістю використання явища «скін-ефекту», суть якого полягає в нерівномірності розподілення густини змінного струму по перерізу провідника. Глибина проникнення струму в метал визначається його частотою.

Установка електроконтактного нагрівання складається з понижуючого трансформатора та масивних мідних затискачів, в яких кріпиться деталь. До складу установки можуть входити перетворювачі частоти змінного струму для зміни глибини нагрівання матеріалу. Особливістю процесу нагрівання металів є збільшення їх питомого опору при збільшенні їх температури.

Основа задачі розрахунку установки електроконтактного нагрівання полягає у визначенні параметрів понижуючого трансформатора (потужність та напруга вторинної обмотки) та виборі частоти змінного струму.

Установки електроконтактного нагрівання призначені для нагрівання заготовок для кування, відпалювання труб та пружинного дроту під навивання.

Також електроконтактне нагрівання застосовується в установках контактної зварювання. Електроконтактне зварювання представляє собою процес утворення нерозбірного з'єднання металевих деталей в результаті їх нагрівання струмом, що протікає по ним, розплавлення місця контакту та стискування деталей.

Зварювальні установки для контактної зварювання мають електричну та механічну частину. Основною елементом електричної частини є зварювальний трансформатор спеціальної конструкції. Механічна частина

установки представлена пристроєм для імпульсного стискання деталей, які підлягають зварюванню.

2. Розрахунок параметрів електродного нагрівача води. Електродне нагрівання є різновидом прямого нагрівання опором і застосовується для нагрівання матеріалів з іонною провідністю (вода, молоко, вологі корми).

Основною складовою частиною установки електродного нагрівання є електродна система, яка призначена для підведення напруги до матеріалу, що нагрівається. За конструкцією на напругою живлення розрізняють однофазні та трифазні електродні системи з плоскими та циліндричними електродами. При розрахунках такі електродні системи представляють у вигляді електричних еквівалентних розрахункових схем. Електрична еквівалентна розрахункова схема трифазної електродної системи з плоскими електродами – це трифазна схема «трикутник», а трифазної електродної системи з циліндричними електродами – «зірка». В електродних водонагрівачах застосовується змінний струм, при використанні якого менше проявляється електроліз води. Для запобігання виникнення електролізу та електричного пробоя води густина струму та напруженість електричного поля між електродами не повинні перевищувати допустимих значень.

Форму та взаємне розміщення електродів характеризує геометричний коефіцієнт електродної системи.

Для систем, наведених на рис. 5.2 його визначають наступним чином:

а) $k = \frac{l}{(n-1) \cdot b}$, де l – відстань між пластинами, см; n – кількість пластин; b

– ширина пластини, см.

б) $k = \frac{l}{2} \cdot \pi \cdot \ln \frac{D}{d}$, де D, d – діаметри коаксіальних електродів, см.

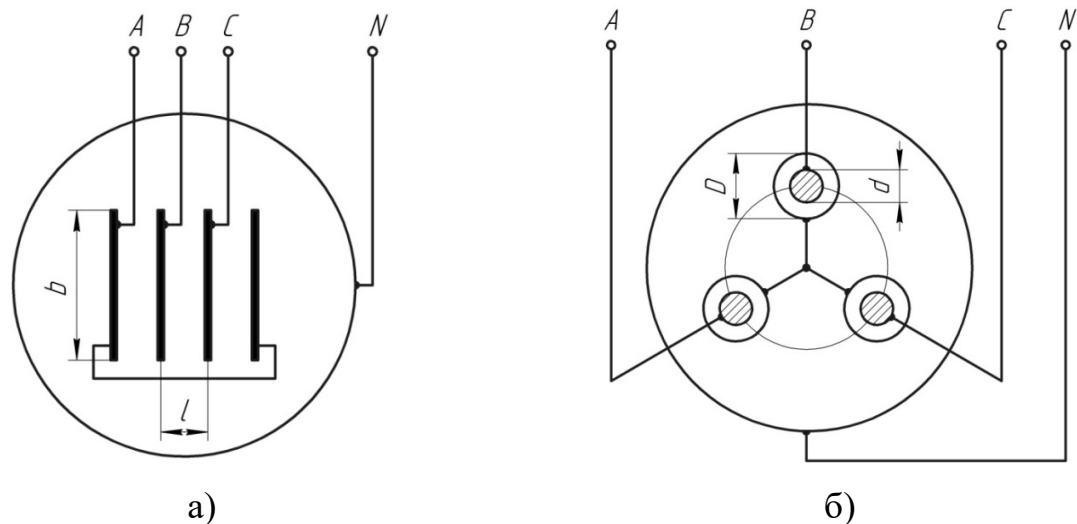


Рис. 5.2 – Трифазні електродні системи з плоскими (а) та циліндричними (б) електродами: b - ширина пластини; l - відстань між пластинами; D, d - діаметри електродів

Особливістю електродного нагрівання води є те, що питомий опір води зменшується при її нагріванні. Тому виникає необхідність регулювання потужності електродного водонагрівача.

Основна задача розрахунку електродного водонагрівача полягає у визначенні параметрів електродної системи.

Електродними системами обладнуються електродні водонагрівачі типу ЕПЗ і електричні водогрійні та парові котли типу КЭВ та КЭПР відповідно.

5.2 Приклад виконання практичного завдання

Завдання 1. Нагрівається стальна деталь масою $m = 10$ кг. Початкова температура нагрівання $\Theta_1 = 10^\circ\text{C}$, кінцева $\Theta_2 = 1010^\circ\text{C}$. Питома теплоємність сталі $c = 0,482 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$. ККД трансформатора $\eta = 0,95$. Коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,85$. Середнє значення активного опору сталюї деталі $R_d = 1,63 \cdot 10^{-3}$ Ом. Визначити потужність трансформатора $S_{\text{тр}}$, напругу на його вторинній обмотці U_2 , та еквівалентну глибину проникнення струму в стальну деталь. Частота струму $f = 50$ Гц, відносна магнітна проникність сталі $\mu_r = 200$,

питомий опір сталі $\rho = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. Трансформатор працює в повторно-короткочасному режимі. Час нагрівання $t_n = 1$ хв, час паузи $t_{п} = 9$ хв.

Розрахунок параметрів понижуючого трансформатора установок електроконтактного нагрівання виконується за наступною методикою:

1. Визначимо корисну потужність, необхідну для нагрівання деталі:

$$P_{кор} = \frac{m \cdot c \cdot (\Theta_2 - \Theta_1)}{t_n} = \frac{10 \cdot 0,482 \cdot (1010 - 10)}{60} = 80,3 \text{ кВт.}$$

2. Потужність вторинної обмотки трансформатора повинна бути не менша потужності, необхідної для нагрівання деталі, тому:

$$P_2 = P_{кор} = 80,3 \text{ кВт.}$$

3. Визначимо потужність трансформатора, що працює в тривалому режимі:

$$S = \frac{P_1}{\cos \phi},$$

де P_1 – активна потужність первинної обмотки, $P_1 = \frac{P_2}{\eta}$; η – ККД трансформатора; $\cos \phi$ – коефіцієнт потужності трансформатора.

Тоді

$$S = \frac{P_2}{\eta \cdot \cos \phi} = \frac{80,3}{0,95 \cdot 0,85} = 99,4 \text{ кВА.}$$

4. Визначимо потужність трансформатора, який працює в повторно-короткочасному режимі:

$$S_{нк} = S \cdot \sqrt{TB},$$

де S – повна потужність трансформатора в тривалому режимі роботи; TB – відносна тривалість роботи трансформатора (тривалість ввімкнення).

$$TB = \frac{t_n}{t_n + t_{п}} = \frac{1}{1 + 9} = 0,1.$$

Тоді

$$S_{нк} = 99,4 \cdot \sqrt{0,1} = 99,4 \cdot 0,3 = 31,4 \text{ кВА.}$$

Напряга на вторинній обмотці може бути знайдена наступним чином:

$$P_2 = \frac{U_2^2}{R_0},$$

Тоді

$$U_2 = \sqrt{P_2 \cdot R_0} = \sqrt{80,3 \cdot 10^{-3} \cdot 1,63 \cdot 10^3} = \sqrt{131} \approx 11, \text{ В.}$$

5. Визначимо еквівалентну глибину проникнення змінного струму в стальну деталь:

$$Z_0 = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}} = 503 \cdot \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{200 \cdot 50}} \approx 3,6 \text{ мм.}$$

Завдання 2. Визначити потужність нагрівача води з трифазною електродною системою з пластинчатими електродами, геометричні розміри електродів та відстань між ними. Продуктивність водонагрівача $m_t = 0,12 \text{ м}^3/\text{год}$. Початкова температура нагрівання $\Theta_1 = 10^\circ\text{C}$, кінцева $\Theta_2 = 90^\circ\text{C}$. Питомий опір води при температурі 20°C $\rho_{20} = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Номінальна напруга живлення водонагрівача $U_n = 380 \text{ В}$. Допустима напруженість електричного поля між електродами $E_{\text{доп}} = 12,5 \text{ кВ/м}$, допустима густина струму $j_{\text{доп}} = 0,5 \text{ А/см}^2$. Питома теплоємність води $c = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$. Густина води $\gamma = 10^3 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт запасу $k_3 = 1,15$. ККД нагрівача $\eta = 0,95$.

Розрахунок параметрів електродного нагрівача води виконується за наступною методикою:

1. Визначимо встановлену потужність електродного водонагрівача:

$$P_{\text{вст}} = \frac{k_3 \cdot P_{\text{кор}}}{\eta},$$

де

$$P_{\text{кор}} = m_t \cdot c \cdot (\Theta_2 - \Theta_1).$$

Тоді

$$P_{вст} = \frac{k_3 \cdot m_t \cdot c \cdot (\Theta_2 - \Theta_1)}{\eta} = \frac{1,15 \cdot 4,19 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} \cdot (90 - 10)}{0,95} = 13,6 \text{ кВт.}$$

2. Визначимо відстань між електродами:

$$l = \frac{U_\phi}{E_{дон}} = \frac{U_n}{E_{дон}} = \frac{U_n}{12500} = \frac{380}{12500} = 3 \text{ см,}$$

3. Прийmemo ширину електрода $b = 5$ см (виходячи з розмірів робочої камери нагрівача), та визначимо геометричний коефіцієнт електродної системи:

$$k_2 = \frac{l}{(n-1) \cdot b} = \frac{3}{(4-1) \cdot 5} = 0,2,$$

4. Визначимо висоту електрода за допомогою наступної залежності:

$$P_{сер} = \frac{U_\phi^2 \cdot h}{k_2 \cdot \rho_{сер}},$$

де $P_{сер}$ – середня потужність нагрівача за час нагрівання від температури Θ_1 до температури Θ_2 ; $\rho_{сер}$ – питомий середній опір води при нагріванні її від температури Θ_1 до температури Θ_2 ,

$$\rho_{сер} = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{20 + \Theta_{сер}},$$

$$\Theta_{сер} = \frac{\Theta_1 + \Theta_2}{2}.$$

Тоді

$$h = \frac{P_{сер} \cdot k_2 \cdot \rho_{сер}}{U_\phi^2},$$

де $P_{сер} = P_{вст} = 13,6$ кВт; $U_\phi = U_n = 380$ В; $k_2 = 0,2$.

Таким чином

$$\Theta_{сер} = \frac{10 + 90}{2} = 50 \text{ }^\circ\text{C,}$$

$$\rho_{сер} = \frac{40 \cdot 1000}{20 + 50} \approx 570 \text{ Ом,}$$

$$h = \frac{13,6 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 570}{380^2} \approx 11 \text{ см,}$$

Отже, електроди мають такі параметри:

- ширина електрода $b = 5$ см;

- висота електрода $h = 11$ см.

Відстань між електродами $l = 3$ см.

5. Перевіримо, чи не буде виникати електроліз води. Для цього визначимо потужність водонагрівача та густину струму в кінці нагрівання, коли густина струму максимальна:

$$P_{\Theta 2} = \frac{U_{\phi}^2 \cdot h}{k_2 \cdot \rho_{\Theta 2}},$$

де

$$\rho_{\Theta 2} = \frac{40 \cdot \rho_{20}}{20 + \Theta_{\Theta 2}} = \frac{40 \cdot 1000}{20 + 90} \approx 364 \text{ Ом,}$$

$$P_{\Theta 2} = \frac{380^2 \cdot 11}{0,2 \cdot 364} \approx 22 \text{ кВт,}$$

$$I_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{U_{\phi}},$$

де

$$P_{\phi} = \frac{P_{\Theta 2}}{3},$$

Тоді

$$I_{\phi} = \frac{P_{\Theta 2}}{3 \cdot U_{\phi}} = \frac{22 \cdot 10^3}{3 \cdot 380} = 19 \text{ А,}$$

$$j_{\Theta 2} = \frac{I_{\phi}}{S_{el}} = \frac{I_{\phi}}{b \cdot h} = \frac{19}{5 \cdot 11} = 0,35 \text{ А/см}^2.$$

Оскільки $j_{\Theta 2} = 0,35 \text{ А/см}^2 < j_{\text{доп}} = 0,5 \text{ А/см}^2$, то електроліз води виникати не буде.

5.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;
3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом (див. табл. 5.1);
4. Відповісти на контрольні питання.
5. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.
6. Зробити висновок про виконану роботу.

5.4 Контрольні питання

1. Поясніть сутність прямого нагрівання опором.
2. Для яких матеріалів застосовується електроконтактне нагрівання та яке обладнання використовується для цього?
3. В чому полягає задача розрахунку установки електроконтактного нагрівання?
4. Поясніть явище «скін-ефекту».
5. Для яких матеріалів застосовується електродне нагрівання?
6. Які типи електродних систем застосовуються для нагрівання?
7. Якими еквівалентними електричними розрахунковими схемами представляють трифазні електродні системи з циліндричними та плоскими електродами?
8. Як залежить питомий опір води від її температури?
9. У визначенні яких параметрів полягає задача розрахунку електродних водонагрівачів?

«Вихідні дані для розрахунку до практичної роботи №5»

Варіант	m, кг	$\Theta_1, ^\circ\text{C}$	$\Theta_2, ^\circ\text{C}$	$\frac{c}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	$t_n, \text{ХВ}$	$t_p, \text{ХВ}$	$m_t, \text{М}^3/\text{ГОД}$
1	10,5	10	89	4,19	1	8	0,12
2	11	9	80	4,19	2	10	0,13
3	12	8	88	4,19	3	11	0,14
4	13	7	90	4,19	4	12	0,15
5	14	11	100	4,19	5	13	0,16
6	15	13	115	4,19	1	9	0,11
7	16	12	105	4,19	2	10	0,13
8	17	15	120	4,19	3	11	0,14
9	18	10	90	4,19	4	12	0,13
10	19	9	80	4,19	5	13	0,14
11	20	8	88	4,19	1	9	0,13
12	21	7	90	4,19	2	10	0,13
13	22	11	100	4,19	4	12	0,14
14	23	13	115	4,19	5	13	0,15
15	24	12	105	4,19	3	11	0,15

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Тема: Розрахунок основних геометричних розмірів зварювального трансформатора

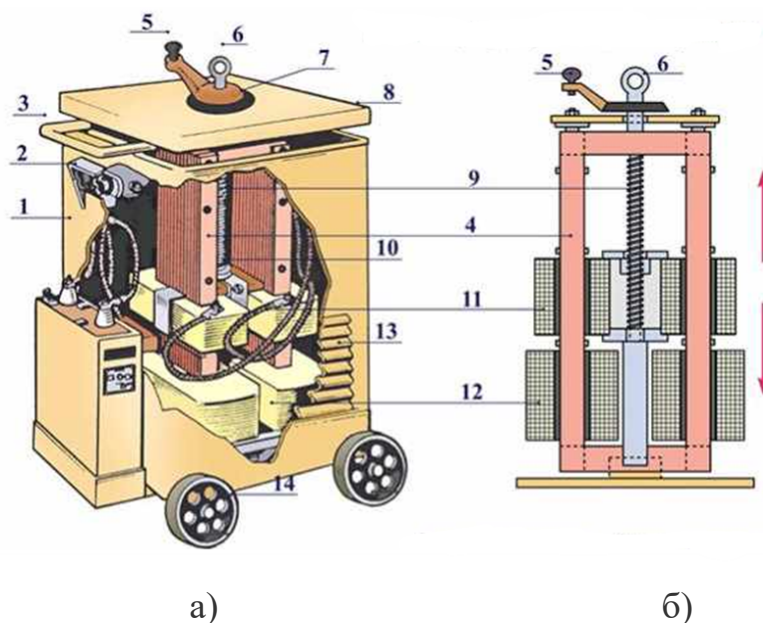
Мета: ознайомити здобувачів початкового рівня вищої освіти з методкою розрахунку основних геометричних розмірів зварювального трансформатора

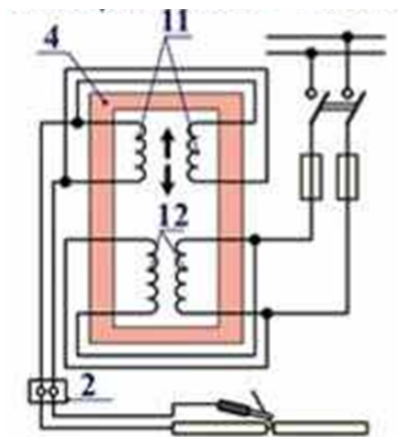
6.1 Теоретичні відомості

Будова і принцип дії зварювальних трансформаторів. Джерела змінного струму широко використовують для ручного дугового зварювання покритими електродами, на автоматах для зварювання під флюсом, для зварювання неплавкими електродами в інертних газах (алюміній та його сплави), у спеціальних установках і при електрошлаковому зварюванні. Джерела змінного струму порівняно дешеві й надійні у роботі.

Зварювальні трансформатори призначені для зниження напруги з 220 або 380 В до безпечної напруги, але достатньої для легкого запалювання та стійкого горіння електричної дуги (не більше 80 В) регулювання сабо зварювального струму залежно від діаметра електродного дроту та товщини зварюваного металу.

Принцип дії трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Він складається з корпусу, в середині якого розміщений магнітопровід 1 (осердя), зібраний з тонких (0,5 мм) лакованих пластин електротехнічної сталі (рис. 6.1) і на якому розміщені первинна 3 та вторинна 2 обмотки. Для підвищення коефіцієнта трансформації в трансформаторах ТСК використовують батарею конденсаторів 4, яку вмикають паралельно до первинної обмотки.





в)



г)

Рис. 6.1 – Зварювальний трансформатор: а, г - загальний вигляд; б - схема регулювання зварювального струму, в - електрична схема; 1 - корпус; 2 - клемми; 3 - ручка; 4 - замкнений магнітопровід; 5 - рукоятка; 6 - рим - болт; 7 - шкала; 8 - кришка корпусу; 9 - вінт з лентою для різки; 10 - ходова гайка; 11 - вторина обмотка; 12 - первина обмотка; 13 - жалюзі; 14 - колеса.

Якщо по первинній обмотці з більшою кількістю витків пропустити змінний струм (напругою 220 або 380 В), то він буде намагнічувати осердя трансформатора, створюючи в ньому змінний магнітний потік. Впливаючи на вторинну обмотку з меншою кількістю витків цей магнітний потік буде створювати (індукувати) в ній змінний струм меншої напруги але більшої величини. Знижуючи за допомогою трансформатора напругу, у стільки ж разів збільшують струм у вторинному колі, який у 3-6 разів більший первинного.

Котушки первинної обмотки вмикають у мережу змінного струму, а від котушок вторинної обмотки зварювальний струм подається на електрод і виріб. У момент підключення первинної обмотки до електромережі (вторинна обмотка розімкнена) встановлюється режим холостого (неробочого) ходу трансформатора. Напруга вторинної обмотки при

холостому ході максимальна; її називають напругою холостого ходу. Відношення напруги первинної обмотки до напруги вторинної при холостому ході називають коефіцієнтом трансформації. Він дорівнює відношенню кількості витків первинної обмотки до кількості витків вторинної. Таким чином у трансформаторах знижується напруга з 220 В або 380 до 60-90 В і їх називають знижувальними. Коли під час запалювання дуги коло вторинної обмотки замикається, то встановлюється режим навантаження.

Зварювальний струм регулюють зміною напруги холостого ходу й опором трансформатора. Плавне регулювання струму можна забезпечити пересуванням рухомих обмоток за допомогою гвинтового механізму 5 і рукоятки 6, збільшуючи або зменшуючи відстань між первинною або вторинною обмотками. При збільшенні відстані магнітний зв'язок між обмотками зменшується (збільшується індуктивний опір) і, відповідно, зменшується зварювальний струм, а при зменшенні відстані між обмотками — зварювальний струм збільшується. Регулювання струму можна здійснювати за допомогою введення магнітного шунта між обмотками, що збільшить магнітний потік розсіювання і струм зменшиться. Змінюючи розташування шунта забезпечують плавне регулювання зварювального струму. Використовують також і нерухомий магнітний шунт, який підмагнічується обмоткою керування постійного струму. Якщо в цій обмотці струм збільшити, то магнітний опір шунта зросте, магнітний потік розсіювання зменшиться, а зварювальний струм збільшиться.

Змінюючи способи з'єднання обмоток струм, можна змінювати опір трансформатора ступінчасто. При послідовному з'єднанні первинних і вторинних обмоток опір трансформатора збільшується, а при паралельному з'єднанні первинних і вторинних обмоток загальний опір трансформатора зменшується. Коли використовується одна первинна і одна вторинна обмотки, то опір трансформатора стає рівним індуктивному опору.

Таким чином, при зміні з'єднань обмоток, отримують три ступені регулювання, або чотирикратну зміну струму.

Методика розрахунку основних геометричних розмірів зварювального трансформатора:

1. Верхня границя вторинної напруги холостого ходу:

$$U_{22xx} = 20 + 0,04 \cdot I_{22},$$

2. Мінімальний індуктивний опір, який забезпечує отримання максимального зварювального струму:

$$x_{\min} = \frac{\sqrt{U_{22xx}^2 - U_{22xx}^2}}{I_{22}},$$

3. Повна потужність трансформатора:

$$S_{mp} = U_{22xx} \cdot I_{2ном} \cdot \sqrt{ПН \div 100 \cdot 10^{-3}},$$

4. Кількість вольт на один виток:

$$e_w = 0,55 + 0,095 \cdot S_{mp},$$

5. Кількість витків первинної обмотки:

$$W_1 = \frac{U_1}{e_w},$$

6. Кількість витків вторинної обмотки:

$$W_2 = \frac{U_{2xx}}{e_w},$$

7. Коефіцієнт трансформації:

$$k = \frac{W_1}{W_2},$$

8. Номінальний струм первинної обмотки:

$$I_{1ном} = \frac{I_{2ном} \cdot k_{\mu}}{k},$$

де k_{μ} – коефіцієнт, який враховує намагнічуючий струм трансформатора; $k_{\mu} = 1,05 - 1,1$.

9. Переріз магнітопроводу:

$$S_c = \frac{U_{2xx} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot B_m},$$

де B_m – прийнята індукція в магнітопроводі, $B_m = 1,73$ Тл.

10. Ширина пластини магнітопроводу:

$$a = \sqrt{\frac{S_c \cdot 10^2}{p_1 \cdot k_c}},$$

де p_1 – висота набору магнітопроводу, $p_1 = 1,8 - 2,2$; k_c – коефіцієнт заповнення магнітопроводу.

11. Набір пластин магнітопроводу:

$$b = p_1 \cdot a,$$

12. Ширина вікна магнітопроводу:

$$C_e = \frac{b}{p_2},$$

де $p_2 = 1,08$

13. Переріз обмотувальних проводів при паралельному з'єднанні котушок:

$$q_1 = \frac{I_{1ном}}{2 \cdot J},$$

де J – густина струму для мідних проводів, $J = 2,4 - 2,8$ А/мм²

6.2 Приклад виконання практичного завдання

Завдання: Визначити основні геометричні розміри зварювального трансформатора з рухомим обмотками на заданий струм $I_{2 ном}$ Для ручного дугового зварювання. Вихідні дані: номінальний зварювальний струм $I_{2 ном}$, тривалість навантаження ПН, первинна напруга U_1 , напруга холостого ходу в діапазоні великих струмів U_{2xx} , зварювальний струм в діапазоні великих струмів I_{22} .

Дано: $I_{2\text{ном}} = 400$ А; $ПН = 60\%$; $U_1 = 380$ В; $U_{2\text{хх}} = 64$ В; $I_{22} = 460$ А.

1. Верхня границя вторинної напруги холостого ходу:

$$U_{22\text{хх}} = 20 + 0,04 \cdot 460 = 38,4 \text{ В},$$

2. Мінімальний індуктивний опір, який забезпечує отримання максимального зварювального струму:

$$x_{\text{min}} = \frac{\sqrt{64^2 - 38,4^2}}{460} = 0,111 \text{ Ом},$$

3. Повна потужність трансформатора:

$$S_{\text{мп}} = 64 \cdot 400 \cdot \sqrt{60 \div 100 \cdot 10^{-3}} = 19,83 \text{ кВА},$$

4. Кількість вольт на один виток:

$$e_w = 0,55 + 0,095 \cdot 19,83 = 2,43 \text{ В/виток},$$

5. Кількість витків первинної обмотки:

$$W_1 = \frac{380}{2,43} = 156,4 \approx 156 \text{ вит},$$

6. Кількість витків вторинної обмотки:

$$W_2 = \frac{64}{2,43} = 26 \text{ вит},$$

7. Коефіцієнт трансформації:

$$k = \frac{156}{26} = 6,$$

8. Номінальний струм первинної обмотки:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{I_{2\text{ном}} \cdot k_\mu}{k}$$

де k_μ – коефіцієнт, який враховує намагнічуючий струм трансформатора; $k_\mu = 1,05 - 1,1$, приймаємо $k_\mu = 1,05$.

$$I_{1\text{ном}} = \frac{400 \cdot 1,05}{6} = 70 \text{ А},$$

9. Переріз магнітопроводу:

$$S_c = \frac{U_{2.xx} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot B_m},$$

де B_m – прийнята індукція в магнітопроводі, $B_m = 1,73$ Тл.

$$S_c = \frac{64 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 26 \cdot 1,73} = 64,1 \approx 64 \text{ см}^2,$$

10. Ширина пластини магнітопроводу:

$$a = \sqrt{\frac{64 \cdot 10^2}{1,8 \cdot 0,95}} = 61 \text{ мм},$$

11. Набір пластин магнітопроводу:

$$b = 1,8 \cdot 61 \approx 109,8 = 110 \text{ мм},$$

12. Ширина вікна магнітопроводу:

$$C_e = \frac{110}{1,08} = 102 \text{ мм},$$

13. Переріз обмотувальних проводів при паралельному з'єднанні котушок:

$$q_1 = \frac{70}{2 \cdot 2,4} = 14,6 \text{ мм}^2.$$

6.3 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з короткими теоретичними відомостями практичної роботи;
2. Ознайомитися з прикладом виконання практичного завдання;
3. Виконати розрахунок за даними у відповідності з варіантом (див.табл. 6.1);
4. Відповісти на контрольні питання.
5. Оформити звіт відповідно до вимог захисту та виконання практичних робіт.
6. Зробити висновок про виконану роботу.

6.4 Контрольні питання

1. Як визначається кількість витків первинної і вторинної обмотки зварювального трансформатора?
2. Як визначити номінальний струм первинної обмотки зварювального трансформатора?
3. Як визначити необхідний переріз магнітопроводу зварювального трансформатора?

Таблиця № 6.1

«Варіанти вхідних даних до практичної роботи 6»

Варіант	$I_{2\text{ ном}}$, А	ПН, %	U_1 , В	$U_{2\text{хх}}$, В	I_{22} , А
1	160	70	220	64	175
2	250	60	380	64	300
3	315	80	220	64	360
4	315	60	380	56	350
5	250	70	380	40	260
6	160	60	380	64	175
7	250	70	220	64	300
8	315	70	380	64	360
9	315	70	220	56	350
10	250	60	220	40	260
11	315	70	380	64	360
12	315	70	220	40	260
13	250	60	380	64	175
14	315	80	220	64	300
15	250	60	380	64	300

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борщ Г., Лавріненко Ю., Синявський О. Практикум з електротехнологій. Київ : НУБП України, 2020. 69 с.
2. Бржезицький В. О., Гаран Я. О., Троценко Є. О. Електротехнологічні установки та системи: практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 41 с.
3. Буляндра О., Бондар В. Енергетичні установки : метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт для студ. напряму 6.050701 «Електротехніка та електротехнологія». Київ : НУХТ, 2021. 88 с.
4. Електротехнологія. URL: <https://mehanik-ua./metodicheskie-ukazaniya/118-metodichni-rekomendatsiji-shchodo-organizatsiji.html>.
5. Лаврентьєва О. О., Солоха А. С. Лабораторний практикум з електротехніки. Кривий Ріг : КДПУ, 2018. 112 с.
6. Лишук В., Літковець С. Основи електроприводу: методичні вказівки до практичних занять. Луцьк : ТК Луц. НТУ, 2019. 88 с.
7. Мардзявко В. А. Аналіз автоматизованої системи керування процесу переробки та транспортування на елеваторах. *Сучасні проблеми землеробської механіки* : Матеріали ХХІ міжнар. наук. конф., м. Харків. Харків, 2020. С. 35-41. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/1503/1/7.pdf>
8. Плахтир О. Основи електроприводу: методичні рекомендації для виконання завдань з самостійної роботи. Миколаїв : МНАУ, 2015. 60 с.
9. Шпіка М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Системи керування електроприводами". Харків : ХНАМГ, 2019. 61 с.

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТІВ З ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

з дисципліни

«Електротехнічні системи і комплекси» для підготовки до практичних занять здобувачами початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Практична робота пишеться кожним студентом власноруч (одним коляром пасти) та починається з номеру практичної роботи та її найменування. Листи заповнюються лише з однієї сторони.

2. Робота оформлюється на листах А4: полем ліворуч – 2,5 см; полем праворуч – 1 см; полем внизу/верху – 2 см.

3. Кожна сторінка повинна бути пронумерована та підписана відповідним шифром (див. додаток 2.)

3. Звіт з практичної роботи повинен мати: титульний лист, теоретичну частину, розрахункову частину, відповіді на контрольні питання, висновки.

4. Титульний аркуш є першою сторінкою практичної роботи і містить основні дані про звіт роботи та її автора. Титульний аркуш заповнюється за строго визначеною формою (див. додаток 1) та повинна містити:

- найменування вищого навчального закладу, факультету та кафедри;
- назву практичної роботи;
- допуски до виконання та захисту;
- відведену графу для оцінки студента;
- прізвище, ім'я автора;
- шифр групи в якій навчається автор;
- науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я викладача;
- рік виконання.

Слід пам'ятати, що титульний лист не підлягає нумерації, однак включається до загальної нумерації сторінок практичної роботи.

5. Розрахункова частина практичної роботи повинна виконуватися з урахуванням загальних вимоги до оформлення звіту та оформлюватися у рамці з відповідним шифром (див. додаток 2).

6. захист практичної роботи відбувається у наступні послідовності:

1) оформлення звіту практичної роботи (титульний лист та теоретична частина), після чого студент отримує допуск до виконання роботи;

2) виконання або розрахунок завдання практичної роботи, після перевірки якої студент готується та відповідає письмово на контрольні питання. Отримується можливість до захисту практичної роботи;

3) захист практичної роботи відбувається усно, за питаннями по темі практичної роботи та відповідного лекційного матеріалу.

ДОДАТКИ

Додаток 1

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

з дисципліни

“Електротехнічні системи і комплекси ”

на тему: “Розробка світлотехнічної відомості”

Допуск до виконання _____

Допуск до захисту _____

Захист _____

Виконав студент групи: Ен 1/1 мб _____
(підпис)

Олексій ХАРИТОНОВ
(імя, прізвище)

Керівник: _____
(підпис)

Віталій МАРДЗЯВКО
(імя, прізвище)

2024

					141 Ен 2/3 мб. 11.ПР01.ЕСК	Лист
Ізм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ

Методичні рекомендації

Укладачі: **Мардзявко** Віталій Анатолійович

Руденко Андрій Юрійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 4,3.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.