

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт
з дисципліни “Випробування, експлуатація і ремонт
електротехнічних пристроїв”
для студентів спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(спеціалізація «Електричні машини і апарати»)
усіх форм навчання

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни “Випробування, експлуатація і ремонт електротехнічних пристроїв” для студентів спеціальності 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” (спеціалізація «Електричні машини і апарати») усіх форм навчання /Укл.: І.М. Коцур, С.О. Лапкіна, – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 46 с.

Укладачі: І.М. Коцур, доц., к.т.н.
С.О. Лапкіна, асистент

Рецензент: С.Т. Яримбаш, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: В.Г. Савельєв, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри
«Електричні машини»
Протокол № 8
від «22» березня 2018 р.

Рекомендовано до видання
НМК Електротехнічного
факультету
Протокол № 8
від «29» березня 2018 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
Практичне завдання № 1 «Розрахунок обмоткових даних асинхронного двигуна при демонтованій обмотці та відсутності паспорта»	5
Практичне завдання № 2 «Розрахунок обмоткових даних асинхронного двигуна при заміні мідних дротів алюмінієвими». . .	18
Практичне завдання № 3 «Розрахунок обмоткових даних асинхронного двигуна при зміні частоти обертання».	21
Практичне завдання № 4 «Розрахунок обмоткових даних асинхронного двигуна при зміні напруги».	26
Література	30
Додаток А	43
Додаток Б	45

ВСТУП

Безперебійна робота виробничих механізмів в промисловості і сільському господарстві в першу чергу забезпечується своєчасним ремонтом і науковою організацією експлуатації електричних машин. Ці заходи дозволяють скоротити щорічну потребу народного господарства країни в нових електричних машинах.

Доцільність ремонту визначається якістю ремонту, тобто машини після капітального ремонту не повинні поступатися новим ні за електричними, ні за експлуатаційними показниками.

При капітальному ремонті електродвигунів з заміною обмотки завдання найчастіше зводиться до збереження фірмових (старих) даних і параметрів обмотки. Проте у ряді випадків дані обмотки, записані при демонтажі останньої, можуть виявитися помилковими внаслідок не вірного виготовлення обмотки при попередньому ремонті (ця обставина могла бути однією з причин виходу машини з ладу). Для того щоб уникнути помилок при ремонті бажано розраховувати обмотувальні дані електричних машин, що надходять у повторний ремонт. Оскільки конструкції осердя статора і ротора електричних машин при ремонті не змінюються, то розрахунок обмотувальних даних, який має назву перевірного, зводиться до визначення числа ефективних провідників і їх перетину. До завдання перевірного розрахунку входить знаходження раціональних параметрів обмотки, при яких задовольнялися б вимоги стандартів.

У практиці ремонту перевірочні розрахунки виконуються при перемотуванні двигуна без зміни його параметрів і наявності його обмотувальних та паспортних даних; перемотуванню двигуна зі зміною частоти обертання і потужності для знаходження оптимальних параметрів при новій частоті обертання, а також для визначення параметрів електричної машини, якщо невідомі її обмотувальні і паспортні дані; заміні мідних дротів на алюмінієві і навпаки, а також зміні їх розмірів; застосуванні більш тонкої пазової і провідникової ізоляції, ізоляції з підвищеною нагрівостійкістю, підвищенні магнітних навантажень та потужності.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

РОЗРАХУНОК ОБМОТКОВИХ ДАНИХ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ДЕМОНТОВАНІЙ ОБМОТЦІ ТА ВІДСУТНОСТІ ПАСПОРТА

Мета роботи: оволодіння методом розрахунку обмоткових даних асинхронного електродвигуна з фазним ротором для визначення обмоткових даних.

1.1 Загальні відомості

Електродвигуни, що поступають у ремонт зазвичай мають заводські паспортні щитки та обмотку, стан якої дозволяє визначити обмоткові дані електродвигуна. У більшості випадків при ремонті необхідно зберегти заводські параметри електродвигуна.

Електроремонтні цехи підприємств мають опубліковані альбоми обмоткових даних електродвигунів, що випускаються у наш час, а також зняті з виробництва. Якщо при ремонті необхідно зберегти заводські параметри – частоту обертання і напругу, і якщо у наявності є обмоткові дроти та електроізоляційні матеріали, немає необхідності виконувати який-небудь розрахунок електродвигуна. Достатньо впевнитися у ідентичності фактичного виконання обмотки і обмоткових даних, що наведені у альбомі, і повністю повторити заводське виконання.

До ремонту можуть поступати електродвигуни, у яких відсутні паспортні щитки, а обмотки або демонтовані, або пошкоджені таким чином, що неможливо визначити при ремонті їх параметри. Обмотка може бути не заводського виконання і немає впевненості у її технічній вправності. У цих випадках необхідно перевірити чи немає у альбомах обмоткових даних такого електродвигуна, геометричні і конструктивні розміри якого співпадають з даними двигуна, що ремонтується. При такому збіганні, коли електродвигуну буде підібраний його заводський паспорт, задача розрахунку скорочується і зводиться до перевірконого розрахунку.

Якщо ж, по альбомам обмоткових даних не буде встановлений паспорт електродвигуна, то необхідні напруга та частота обертання

Таблиця 1.1 – Значення електромагнітних навантажень для асинхронних двигунів

Найменування	Позначення	Потужність, кВт			
		Вище 100	10-100	1-10	До 1
Індукція в повітряному зазорі	B_a , Тл	1,0-0,9	0,9-0,7	0,7-0,6	0,6-0,3
Індукція в спинці статора	B_{c1} , Тл	1,7-1,4	1,6-1,3	1,6-1,2	1,5-1,1
Індукція в спинці ротора	B_{c2} , Тл	1,4-1,2	1,3-1,2	1,2-1,0	1,1-0,9
Індукція в зубцях статора	B_{s1} , Тл	1,9-1,8	1,8-1,4	1,6-1,4	1,5-1,3
Індукція в зубцях ротора	B_{s2} , Тл	1,8-1,6	1,6-1,4	1,4-1,3	1,3-1,1
Щільність струму в обмотці статора	j_1 , А/мм ²	5-3	5,5-4	6-5	8-6
Щільність струму в фазній обмотці ротора	j_2 , А/мм ²	5,5-5	6-5,5	-	-
Щільність струму в стрижнях короткозамкненого ротора	j_c , А/мм ²	7,0-5,5	8,0-7,0	8,5-8,0	9,0-8,5
Щільність струму в замикаючому кільці коротко замкненого ротора	j_k , А/мм ²	5,0-4,0	5,5-5,0	6,0-5,5	7,0-8,5
Добуток щільності струму на лінійне навантаження обмотки статора	$f_1 A_1$, А/мм ² ·см ²	2000		1700	

оговорюються із замовником у завданні на ремонт, а обмоткові дані встановлюються розрахунковим шляхом на підставі знятих розмірів і даних про допустиме електромагнітне навантаження, яке наведене у табл.1.1.

Для розглядаємих умов ремонту послідовність розрахунку наступна. У відповідності із завданням і розмірами електродвигуна розраховують число полюсів

$$2p = \frac{6000}{n_c}. \quad (1.1)$$

Полюсна поділлка, см:

$$\tau_1 = \frac{\pi \cdot D_{\text{в}1}}{2p}. \quad (1.2)$$

Зубцевий крок статора, см:

$$t_{\text{з}1} = \frac{\pi \cdot D_{\text{в}1}}{Z_1}. \quad (1.3)$$

Зубцевий крок ротора, см:

$$t_{\text{з}2} = \frac{\pi \cdot D_{\text{н}2}}{Z_2}. \quad (1.4)$$

Активна довжина пакету сталі статора, см:

$$\ell_1 = k_{c1}(\ell_{c1} - n_{\text{к}1} \cdot b_{\text{к}1}). \quad (1.5)$$

Активна довжина пакета сталі ротора, см:

$$\ell_2 = k_{c2}(\ell_{c2} - n_{\text{к}2} \cdot b_{\text{к}2}). \quad (1.6)$$

Розрахункова ширина зубця статора, см:

$$b_1 = \frac{2}{3} b_1' + \frac{1}{3} b_1''. \quad (1.7)$$

Розрахункова ширина зубця ротора, см:

$$b_2 = \frac{2}{3} b_2' + \frac{1}{3} b_2'' \quad (1.8)$$

Висота спинки статора та ротора відповідно, см:

$$h_{c1} = \frac{D_{H1} - D_{B1}}{2} - h_{n1}, \quad (1.9)$$

$$h_{c2} = \frac{D_{H2} - D_{B2}}{2} - h_{n2}. \quad (1.10)$$

Визначають орієнтовно корисну потужність електродвигуна за формулою, кВт:

$$P = A \cdot D_{B1}^2 \cdot \ell_{c1} \cdot n_c, \quad (1.11)$$

де A – постійна потужності, значення якої в залежності від полюсної поділки τ_1 наведено на рисунку 1.1.

Потужність, яка визначається за формулою 1.11 є приблизною.

Визначається величина індукції у зазорі $B\delta$ виходячи із наступних міркувань. Чим вище значення $B\delta$, тим вище значення пускового та максимального моментів обертання електродвигуна: крім того, збільшення $B\delta$ повлікає за собою пропорційне зменшення числа ефективних дротів в пазу, що в свою чергу дозволяє збільшити переріз кожного ефективного дроту, тим самим збільшити припустимі струм та потужність електродвигуна.

Але занадто велике значення індукції в зазорі може привести до недопустимих індукцій в активній сталі, збільшення намагнічуючого струму, збільшення втрат та зниження коефіцієнтів потужності та ККД електродвигуна. Дуже великі індукції у спинці статора призводять до витіснення потоку у навколишні конструктивні деталі і сильний нагрів цих деталей. У таких випадках попередньо обрана максимальна величина індукції в зазорі повинна бути знижена, щоб сполучені з нею індукції на інших ділянках магнітного ланцюга електродвигуна були у припустимих межах.

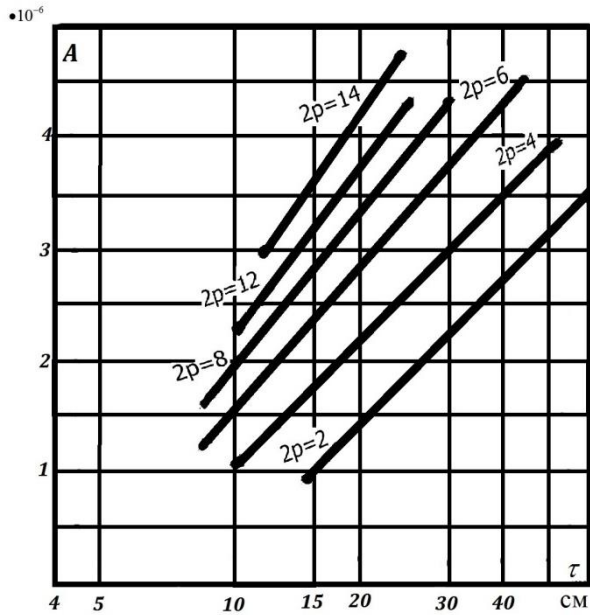


Рисунок 1.1 – Постійна потужності A в залежності від полюсної поділки τ

Величина індукції у повітряному зазорі згідно формул (1.12) та (1.13) приймається як менше із значень.

$$B\delta = K_s \frac{l_1}{l_{c1}} \cdot \frac{b_1}{t_{s1}}, \quad (1.12)$$

$$B\delta = K_c \cdot P \cdot \frac{l_1}{l_{c1}} \cdot \frac{h_{c1}}{D_{B1}}, \quad (1.13)$$

де K_s та K_c обирають згідно табл. 1.2.

Індукція в зубцях статора та ротора відповідно, Тл:

$$B_{s1} = B\delta \frac{t_{s1}}{b_1} \cdot \frac{l_{c1}}{l_1}, \quad (1.14)$$

$$B_{\delta 2} = B\delta \frac{t_{\delta 2}}{b_2} \cdot \frac{l_{c2}}{l_2}. \quad (1.15)$$

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнтів K_z та K_c , що розраховані виходячи з межових значень $B_{\delta 1}$ та B_{c1}

Потужність електродвигуна, кВт	Коефіцієнт		Потужність електродвигуна, кВт	Коефіцієнт	
	K_c	K_z		K_c	K_z
До 1	2.6	1.45	10 - 100	2.8	1.75
1 - 10	2.8	1.55	Більш 100	3.0	1.90

Індукція у спинці статора та ротора відповідно, Тл:

$$B_{c1} = 0,55 \cdot B\delta \cdot \frac{D_{B1}}{h_{c1}} \cdot \frac{l_{c1}}{l_1} \cdot \frac{1}{p}, \quad (1.16)$$

$$B_{c2} = 0,55 \cdot B\delta \cdot \frac{D_{H2}}{h_{c2}} \cdot \frac{l_{c2}}{l_2} \cdot \frac{1}{p}. \quad (1.17)$$

Індукцію в зубцях статора і ротора, в спинці статора і ротора необхідно перевірити за таблицею 1.1. Якщо вони знаходяться у припустимих межах, то немає потреби корегувати значення $B\delta$.

Число пазів на полюс і фазу обмотки статора

$$q_1 = \frac{z_1}{3 \cdot 2p}. \quad (1.18)$$

Крок обмотки статора для одношарової обмотки – діаметральний, визначається за формулою (1.19); для двошарової обмотки – скорочений, визначається за формулою (1.20)

$$y_n = \frac{z_1}{2p}, \quad (1.19)$$

$$y_n = \beta \frac{z_1}{2p}. \quad (1.20)$$

За табл. 1.3 визначається обмотковий коефіцієнт обмотки статора k_{01} .

Таблиця 1.3 – Значення обмоткових коефіцієнтів трифазної обмотки

		Число котушок у котушечній групі						
		1	2	3	4	5-7	8	9 і вище
Обмотковий коефіцієнт при скороченні кроку обмотки	1	1	0,966	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955
	0,95	0,997	0,963	0,957	0,955	0,954	0,953	0,952
	0,9	0,988	0,954	0,948	0,947	0,946	0,945	0,944
	0,85	0,972	0,935	0,933	0,931	0,930	0,929	0,928
	0,8	0,951	0,919	0,913	0,911	0,910	0,909	0,908
	0,75	0,924	0,903	0,887	0,885	0,884	0,883	0,882
	0,7	0,891	0,861	0,855	0,854	0,853	0,852	0,851
	0,65	0,853	0,824	0,819	0,817	0,816	0,815	0,813
	0,6	0,809	0,781	0,779	0,777	0,774	0,773	0,773
	0,55	0,760	0,734	0,730	0,728	0,727	0,727	0,726
	0,5	0,700	0,678	0,672	0,671	0,670	0,669	0,668

Задаючись числом паралельних гілок у фазі визначають кількість ефективних дротів у пазу статора

$$\omega_{\varepsilon n1} = \frac{2,5 \cdot p \cdot U_{\phi1} \cdot a_1}{B\delta \cdot l_{c1} \cdot Z_1 \cdot D_{B1} \cdot k_{c1}} \cdot 10^2, \quad (1.21)$$

та число ефективних витків у фазі статора

$$\omega_{\varepsilon \phi1} = \frac{\omega_{\varepsilon n1} \cdot Z_1}{\beta \cdot a_1}. \quad (1.22)$$

Число ефективних дротів у пазу ротора приймають виходячи із допустимої величини напруги між кільцями за формулами (1.23) та (1.24).

При з'єднанні фаз у трикутник, В:

$$U_2 = U_{\phi2}. \quad (1.23)$$

При з'єднанні фаз у зірку, В:

$$U_2 = \sqrt{3} \cdot U_{\phi 2}. \quad (1.24)$$

Для найбільш вживаних двошарових стрижньових хвильових обмоток $\omega_{\phi 2} = 2$.

Визначають вільний перетин паза Q'_{n1} як різниця між його площею у світі та площею, що займає пазова ізоляція, міжшарова прокладка і клин.

Визначають суму площ прямокутників, що описані навколо всіх ізольованих дротів, які закладені в паз, мм²:

$$Q'_{n1} = K'_1 \cdot K''_1 \cdot Q_{n1}, \quad (1.25)$$

де K'_1 - коефіцієнт заповнення вільного перетину пазу, що дорівнює для круглих дротів 0,65-0,7 для мідних дротів, і 0,7-0,75 для алюмінієвих;

K''_1 - коефіцієнт вільного перетину пазу, що визначається за формулою (1.26).

$$K''_1 = \frac{Q'_{n1}}{Q_n}. \quad (1.26)$$

де K''_1 можна прийняти 0,75.

Площа прямокутника, який описаний навколо ізольованого елементарного провідника, мм²:

$$q'_{en1} = \frac{Q_{n1}}{m_1 \cdot \omega_{en1}}, \quad (1.27)$$

де m_1 - кількість елементарних провідників, на яке розділений кожен електричний дріт, що закладений у паз.

Необхідність розбивки ефективного дроту на елементарні провідники і розбиття кожної фази на паралельні гілки виникає, якщо розмір дроту такий, що він не проходить через шліц. В електродвигунах малої і середньої потужності прагнуть виконати обмотку з $a_1 = 1$ та $m_1 = 1$.

При визначенні числа паралельних гілок у кожній фазі обмоток та числа елементарних провідників в ефективному дроті, що закладений у паз, керуються наступним:

а) максимальний діаметр дроту (без ізоляції) не повинен перевищувати 1.81 мм для мідних обмоток, та 2.26 мм для алюмінієвих обмоток;

б) діаметр ізольованого дроту має бути на 0,3÷0,4 мм менше за розмір шліцу пазу.

Для практичних цілей при виборі числа паралельних гілок для електродвигунів потужністю до 100 кВт можна керуватися табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Число паралельних гілок в обмотці статора

Вид обмотки	Число паралельних гілок при кількості полюсів					
	2	4	6	8	10	12
Двошарова	1	1, 2	1, 2, 3	1, 2, 4	1, 2, 5	1, 2, 3, 4, 6
Одношарова	1	1, 2	1, 3	1, 2, 3	1, 5	1, 2, 3, 6

Діаметр ізольованого елементарного провідника складає, мм:

$$d_{en1} = \sqrt{q'_{en1}}. \quad (1.28)$$

Отримане значення d_{en1} округляється до найближчого меншого стандартного діаметру дроту (див. табл. 1.5).

Діаметр неізольованого дроту, мм:

$$d_{e1} = d_{en1} - \Delta, \quad (1.29)$$

де Δ - двостороння товщина ізоляції дроту (прийняти рівним 0,21 мм).

$$q_{e1} = d_{e1}^2. \quad (1.30)$$

Якщо діаметр неізольованого дроту перевищує 1,81 мм необхідно змінити прийняті значення a_1 та (або) m_1 .

Обираємо щільність струму в обмотці статора j_1 за таблицею 1.6.

Номинальний фазний струм статора, А:

$$I_{\phi 1} = j_1 \cdot a_1 \cdot m_1 \cdot q_{\epsilon 1}. \quad (1.31)$$

Номинальний фазний струм ротора, А:

$$I_{\phi 2} = 0,9 \cdot I_{\phi 1} \cdot \frac{\omega_{\epsilon n 1} \cdot k_{01} \cdot a_2}{\omega_{\epsilon n 2} \cdot k_{02} \cdot a_1}. \quad (1.32)$$

Визначаємо щільність струму в обмотці ротора, $\frac{A}{mm^2}$:

$$A_1 = \frac{I_{\phi 1} \cdot Z_1 \cdot \omega_{\epsilon n 1}}{\pi \cdot D_{B1} \cdot d_1}. \quad (1.33)$$

Аналогічним чином знаходять лінійне навантаження обмотки ротора. Отримані значення порівнюються з допустимими за табл. 1.6.

Знаходяться добутки $j_1 A_1$ та $j_2 A_2$ та порівнюються із допустимими за табл. 1.1.

Фазна напруга обмотки ротора, В:

$$U_{\phi 2} = U_{\phi 1} \frac{\omega_{\epsilon n 2} \cdot Z_2 \cdot k_{02} \cdot a_1}{\omega_{\epsilon n 1} \cdot Z_1 \cdot k_{01} \cdot a_2}. \quad (1.34)$$

Визначається напругу на кільцях ротора при

– з'єднанні фаз у зірку, В:

$$U_2 = \sqrt{3} \cdot U_{\phi 2}, \quad (1.35)$$

– з'єднанні фаз у трикутник, В:

$$U_2 = U_{\phi 2}. \quad (1.36)$$

Далі приймається схема з'єднання фаз за допустимим значенням напруги.

Визначається уявна потужність, кВА:

- при з'єднанні фаз у зірку

$$P' = \frac{UI_{\phi 1}\sqrt{3}}{1000}, \quad (1.37)$$

- при з'єднанні фаз у трикутник

$$P' = \frac{UI_{\phi 1}}{1000}. \quad (1.38)$$

Номінальна потужність електродвигуна, кВт:

$$P = P' \cdot \cos\varphi \cdot \eta, \quad (1.39)$$

де $\cos\varphi$ та η обираються за табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Коефіцієнти корисної дії та потужності електродвигунів захисного виконання з короткозамкненим ротором.

Потужність, кВт	η			$\cos\varphi$		
	при частоті обертання (синхронної), обмотки					
	1500	1000	750	1500	1000	750
1,7	—	72,5	—	—	0,72	—
2,8	78,0	75,5	—	0,82	0,74	—
4,5	80,0	78,5	76,5	0,83	0,76	0,72
7	82,0	81,0	79,5	0,84	0,78	0,74
10	83,5	82,5	81,5	0,85	0,79	0,76
14	84,5	84,0	83,0	0,86	0,80	0,77
20	86,0	85,0	84,5	0,86	0,81	0,79
28	87,0	86,5	86,0	0,87	0,82	0,80
40	88,0	87,5	87,5	0,87	0,83	0,81
55	89,0	88,5	88,5	0,87	0,83	0,82
75	90,0	89,5	—	0,88	0,84	—
100	90,5	—	—	0,88	—	—

1.2 Хід роботи

Розрахувати обмоткові дані асинхронного електродвигуна з фазним ротором при демонтованій обмотці та відсутності паспорту. Виконання електродвигуна – захищене. З'єднання фаз у зірку. Обмотку статора обрати двошаровою зі скороченням кроку β . Варіанти індивідуальних завдань наведені у Додатку А.

1.3 Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Розрахунок обмоткових даних.
3. Висновки.

1.4 Контрольні запитання

1. Як класифікуються електричні машини?
2. Які виконання електричних машин існують?
3. Які букви застосовуються для позначення виконання електричної машини:
 - а) за способом захисту;
 - б) за способом охолодження;
 - в) за способом монтажу?
4. Як класифікуються машини за кліматичними умовами і умовами розміщення?
5. Що повинно бути вказано на заводському щітку електродвигуна?
6. Як здійснюється охолодження електродвигуна?
7. Від чого залежить швидкість обертання електродвигуна?
8. Способи установки і кріплення машин.
9. Чому необхідно центрування вала електродвигуна з валом приводного механізму (машини)?
10. Допустима величина відхилення повітряних зазорів?
11. Чи можливе проведення центрування без скоб?
12. Чим обумовлені шуми в електричних машинах? Як поділяються електричні машини за рівнем шуму?
13. Що входить в номінальні дані електричних машин?

14. У якому діапазоні швидкостей виконуються електричні машини?
15. На які потужності виготовляються електричні машини?
16. Види ремонту електричних машин.
17. Що входить у типовий обсяг робіт з технічного обслуговування електричних машин?
18. Що включає типовий обсяг робіт при поточному ремонті електричних машин?
19. Типовий обсяг робіт при капітальному ремонті.
20. Технічні умови ремонту.
21. Що таке передремонтні випробування електричних машин?
22. Яку структуру мають електроремонтні підприємства?
23. Типові роботи при ремонті електричних машин.

24.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2

РОЗРАХУНОК ОБМОТКОВИХ ДАНИХ АСИНХРОННОГО
ДВИГУНА ПРИ ЗАМІНІ МІДНИХ ДРОТІВ
АЛЮМІНІЄВИМИ

Мета роботи: оволодіння методикою розрахунку обмотки асинхронного двигуна при заміні мідних дротів алюмінієвими.

2.1 Загальні відомості

При ремонті обмоток, що пов'язаний з заміною мідних дротів алюмінієвими, основним фактором, що впливає на хід розрахунку, є відмінність в їх питомому опорі, який при 20 °С: для міді $\rho_m = 0.017 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, для алюмінію $\rho_a = 0.028 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Відношення питомих опорів алюмінію та міді

$$\frac{\rho_a}{\rho_m} = \frac{0.028 \text{ Ом} \cdot \text{м}}{0.017 \text{ Ом} \cdot \text{м}} = 1,65. \quad (2.1)$$

Якщо виконати замість мідної обмотки алюмінієву дротом того ж розміру, залишивши без зміни індукцію в повітряному зазорі і число ефективних дротів в пазу, то при номінальному струмі зростуть втрати в обмотці. Втрати в сталі залишаться без зміни.

Втрати у фазі для мідної обмотки

$$\Delta P_m = \frac{I_{\phi 1m}^2 \cdot \rho_m \cdot l}{Q_{\text{еф}1m}}, \quad (2.2)$$

де l – довжина всіх ефективних дротів у фазі.

Втрати у фазі для алюмінієвої обмотки

$$\Delta P_a = \frac{I_{\phi 1a}^2 \cdot \rho_a \cdot l}{Q_{\text{еф}1a}}. \quad (2.3)$$

Для того щоб уникнути зростання втрат в обмотці і зберегти сумарні втрати електродвигуна, необхідно знизити фазний струм.

Таким чином фазний струм алюмінієвої обмотки, А:

$$I_{\phi 1a} = \frac{I_{\phi 1m}}{\sqrt{1.65}} = 0.78 I_{\phi 1m}. \quad (2.4)$$

Тобто номінальний струм має бути знижено на 22%. Практично на стільки ж має бути зменшено номінальну потужність електродвигуна.

При необхідності збереження номінальних струмів і потужності, при збереженні втрат в обмотці статора слід збільшити перетин ефективного дроту. Це збільшення визначається наступним чином.

Через те що

$$\begin{aligned}\Delta P_M &\approx \Delta P_a, \\ \frac{I_{\phi 1M}^2 \cdot \rho_M \cdot l}{Q_{\phi 1M}} &= \frac{I_{\phi 1a}^2 \cdot \rho_a \cdot l}{Q_{\phi 1a}}, \\ \frac{\rho_M}{Q_{\phi 1M}} &= \frac{\rho_a}{Q_{\phi 1a}}, \\ \frac{\rho_M}{Q_{\phi 1M}} &= \frac{1.65 \cdot \rho_M}{Q_{\phi 1a}},\end{aligned}$$

Таким чином

$$Q_{\phi 1a} = 1.65 \cdot Q_{\phi 1M}. \quad (2.5)$$

При виготовленні обмотки з круглих дротів діаметр неізолюваного (алюмінієвого) дроту повинен бути збільшений в порівнянні з мідним.

$$d_a = \sqrt{1.65} \cdot d_m = 1.28 \cdot d_m. \quad (2.6)$$

Для можливості укладання дротів в пази при вказаному збільшенні їх діаметру застосовують обмотувальні дроти класу нагрівостійкості А марки ПЕВА-2 і ПЕЛРА-2 * (F): ПЕТВ-ТС, які мають більш тонку ізоляцію, ніж мідні дроти класу нагрівостійкості А марок ПБД і ПЕЛБО. А також виконують ізоляцію паза тонкими електроізоляційними матеріалами класу нагрівостійкості Е

2.2 Хід роботи

2.2.1 Розрахувати асинхронний двигун згідно даних Додатку А при заміні мідного дроту алюмінієвим при: необхідності збереження перетину дроту та залишивши без зміни індукцію в повітряному зазорі і число ефективних дротів в пазу.

2.2.2 Розрахувати асинхронний двигун при збереженні номінальних струмів, потужності та втрат в обмотці статора.

2.3 Зміст звіту

1. Мета заняття
2. Розрахунки асинхронного двигуна при заміні мідного дроту алюмінієвим
3. Висновки

2.4 Контрольні запитання

1. Що виявляється під час передремонтних випробувань?
2. Яким має бути опір ізоляції обмоток щодо корпусу і між обмотками машини?
3. Як проводяться випробування ізоляції електричної машини відносно корпусу?
4. Як проводяться випробування міжвиткової ізоляції обмоток?
5. Які граничні температури встановлені для підшипників кочення, підшипників ковзання і масла?
6. Як вимірюються значення повітряного зазору електродвигунів?
7. Метод перевірки обмотки магнітним ярмом.
8. Метод перевірки обмотки мілівольтметром.
9. Методи виявлення перехресчування кінців обмотки.
10. Які ви знаєте методи знаходження міжвиткового замикання?
11. Як працюватиме двигун при наявності виткових замикань?
12. Як покращити виткову ізоляцію обмоток електричних машин?
13. Від чого зазнають нагрівання обмотки електричних машин?
14. Як вимірюють температуру обмоток за опором постійному струму?
15. Чому не слід вимірювати омичний опір змінним струмом?
16. Яким повинен бути опір фазних обмоток електродвигуна?
17. Чому проводять заміри опорів фаз постійним струмом?
18. Якою допускається різниця опорів між обмотками фаз?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

РОЗРАХУНОК ОБМОТКОВИХ ДАНИХ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ЗМІНІ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ

Мета роботи: ознайомлення та оволодіння методикою розрахунку обмоткових даних асинхронного двигуна при зміні частоти обертання.

3.1 Загальні відомості

Електродвигуни з короткозамкненим ротором можуть мати ряд специфічних відхилень через невірне співвідношення числа пазів статора, ротора та числа полюсів.

Ці відхилення полягають у тому, що двигун може «прилипати», тобто не починати обертатися при підключенні до мережі; або застрягати на деякій частоті обертання, якщо двигун все-таки почав обертатися; або при обертанні викликати сильний шум.

Для запобігання вказаних явищ мають бути витримані співвідношення між числами пазів і полюсів, вказані у (3.1)

$$\left. \begin{aligned} Z_2 &\neq Z_1; Z_2 \neq 0.5 \cdot Z_1; Z_2 \neq 2Z_1; Z_2 \neq 6 \cdot p \cdot K; \\ Z_2 &\neq 6pK + 2p; Z_2 \neq Z_1 \pm p; Z_2 \neq Z_1 + 2p; \\ Z_2 &\neq 0.5Z_1 \pm p; Z_2 \neq 2Z_1 + 2p; Z_2 \neq 6pK \pm 1; \\ Z_2 &\neq 6pK \pm (2p \pm 1) \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де K – будь-яке ціле число.

При переводі електродвигуна на іншу частоту обертання необхідно звірити можливість такого переводу з точки зору допустимого співвідношення нового числа полюсів та числа пазів статора і ротора за формулами (3.1).

Якщо перевод електродвигуна можливий, визначаємо окружну швидкість ротора за формулою (3.2).

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_{B1} \cdot n_c}{60 \cdot 100} \text{ м/с} \quad (3.2)$$

Значення окружної швидкості ротора не повинно перевищувати для фазного ротора 30-40 м/с, а для короткозамкненого ротора – 40-60 м/с.

Необхідно перевірити міцність вільного кінця валу (тобто кінця валу, на який насаджують шків, муфти або шестерні) за рисунком 3.1.

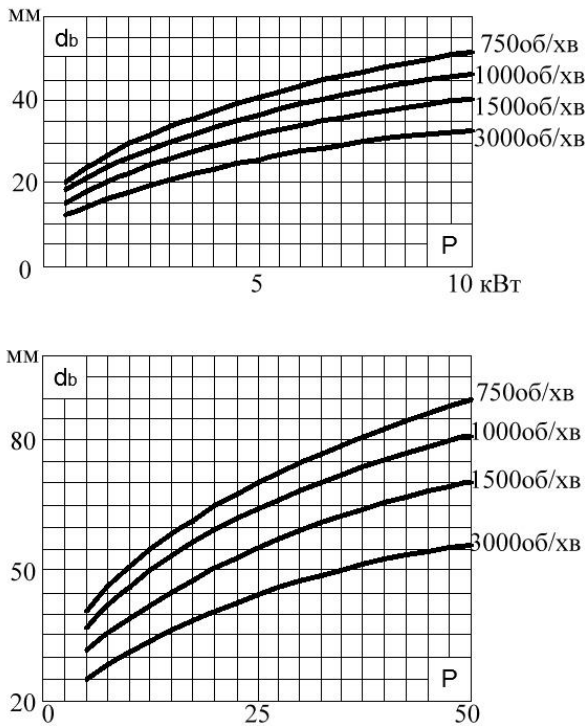


Рисунок 3.1 – Допустиме навантаження на вал

У ході розрахунку необхідно визначити число полюсів за новою частотою обертання двигуна, полюсну поділку, активну довжину пакету сталі статора та ротора, число пазів на полюс і фазу обмотки статора, крок обмотки статора та число ефективних дротів.

При перерахунку електродвигуна визначають індукції на всіх ділянках магнітного ланцюга.

Індукція у повітряному зазорі визначається за формулою (3.3).

$$B\delta_H = \frac{2.5 \cdot U_{\phi 1} \cdot P_H \cdot 10^2 \cdot a_1}{Z_2 \cdot D_{B1} \cdot l_{c1} \cdot k_{01} \cdot \omega_{en1}} \quad \text{Тл.} \quad (3.3)$$

При зменшенні числа полюсів та зберіганні індукції у повітряному зазорі збільшується індукція у спинці статора і у тілі ротора.

У тих випадках, коли можна при зміненому числі полюсів зберегти індукцію у зазорі і у зубцях, або коли збільшена індукція у спинці і зубцях перевищує припустимі значення, наведені у таблиці, не більш ніж на 10-15%.

Індукція у зубцях статора і ротора не перевіряється, бо зміна числа полюсів не впливає на їх величину. Якщо індукція у спинці ротора або ротора дещо завищена необхідно прийняти максимально допустиме значення та перерахувати число ефективних дротів у пазу за формулою (2.4) і перетин ефективного дроту за формулою (2.5).

Число ефективних дротів пазу

$$\omega'_{en1} = \omega_{en1} \cdot \frac{B_c}{B_{don}}, \quad (3.4)$$

де ω'_{en1} - число ефективних дротів у пазу, що відповідає новому значенню індукції;

B_c - індукція у спинці статора або ротора;

B_{don} - прийняте допустиме значення індукції у спинці статора/ротора.

Перетин ефективного дроту

$$Q'_{\epsilon\phi 1} = Q_{\epsilon\phi 1} \cdot \frac{\omega_{en1}}{\omega'_{en1}} \quad (3.5)$$

Число елементарних провідників в ефективному дроті зберігається $m_{1H} = m_1$

Перетин елементарного провідника, мм²:

$$q'_{\epsilon 1} = \frac{Q_{\epsilon\phi 1}}{m_1} \quad (3.6)$$

Діаметр елементарного провідника, мм:

$$d'_{\epsilon 1} = 1.113 \sqrt{q'_{\epsilon 1}} \quad (3.7)$$

Діаметр елементарного провідника $d'_{\epsilon 1}$ округляється до найближчого стандартного діаметра та приймається відповідний перетин ефективного дроту $Q'_{\epsilon \phi 1}$.

Фазний струм

$$I'_{\phi 1} = J_1 \cdot q'_{\epsilon 1} \cdot m'_1 \quad (3.8)$$

Повна потужність електродвигуна

$$P'_H = \frac{3 \cdot I'_{\phi 1} \cdot U_{\phi 1}}{1000} \text{ кВ.А.} \quad (3.9)$$

Номінально потужність електродвигуна

$$P_H = P'_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta. \quad (3.10)$$

Зміна потужності електродвигуна при зміні частоти обертання може розглядатися як приблизне, тому що при збільшенні частоти обертання, з одного боку, збільшуються втрати на тертя, а з іншого боку збільшується продуктивність вентилятора. Збільшення потужності електродвигуна при збільшенні частоти обертання може бути обмежений механічною міцністю його частин та їх нагрівом.

Коли при збільшенні частоти обертання необхідно зменшити індукцію у зазорі, щоб привести до норми індукцію у спинках статора і ротора, пропорційно збільшується число ефективних дротів у пазу і зменшується перетин ефективного дроту і номінальна потужність електродвигуна.

Збільшення числа ефективних дротів у пазу призводить до погіршення коефіцієнту заповнення пазу. Тому при перемотці електродвигуна необхідно застосовувати дроти з більш тонкою ізоляцією і максимально допустимим діаметром із умови можливості його укладання через шліц пазу.

Для збільшення діаметру дроту необхідно переглянути і по можливості зменшити число елементарних провідників в ефективному дроті і число паралельних гілок у фазі.

3.2 Хід роботи

Виконати перерахунок електродвигуна з частотою обертання n_1 на частоту обертання n_2 згідно технічних даних двигуна, наведених у таблиці Б.1. Коефіцієнт заповнення пакету сталі прийнято рівним $K_{C1}=K_{C2}=0.93$.

3.3 Зміст звіту

1. Мета заняття
2. Перерахунок частоти обертання асинхронного двигуна
3. Висновки

3.4 Контрольні запитання

1. Ознаки короткого замикання в обмотці асинхронного двигуна: поясніть засоби виявлення місця замикання.
2. Вкажіть можливі місця короткого замикання між фазами асинхронного двигуна та поясніть засоби виявлення місць пошкоджень.
3. Поясніть, як виявляється замкнута на корпус фаза асинхронного двигуна та місця замкнення.
4. Поясніть технологію ремонту ротора з короткозамкнутою обмоткою.
5. Поясніть технологію ремонту роторів з фазною обмоткою після ремонту.
6. Поясніть технологію просочування та сушіння двигуна після ремонту.
7. Норми та обсяг післяремонтних випробувань асинхронного двигуна. Поясніть виконання дослідів холостого ходу, випробування на підвищену швидкість обертання та випробування ізоляції між витками.
8. Поясніть як перевіряється маркування виводів електричних машин змінного струму і як визначається полярність виводів.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

РОЗРАХУНОК ОБМОТКОВИХ ДАНИХ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИ ЗМІНІ НАПРУГИ

Мета роботи: ознайомлення та оволодіння методикою розрахунку обмоткових даних асинхронного двигуна при зміні напруги.

4.1 Загальні відомості

При переводі електродвигуна на нову напругу без зміни частоти обертання умовного зберігання його потужності є незмінність індукцій на усіх ділянках магнітного ланцюга і об'єму струму в пазу.

Індукція у повітряному зазорі, Тл:

$$B\delta = \frac{2.5 \cdot p \cdot U_{\phi 1} \cdot a_1}{l_{c1} \cdot Z_1 \cdot D_{\varepsilon} \cdot \omega_{\varepsilon n1} \cdot k_{01}} \cdot 10^2 \quad (4.1)$$

Згідно формулі (4.1) при незмінній індукції у зазорі:

$$\frac{U_{\phi 1}}{\omega_{\varepsilon n1} \cdot k_{01}} = \frac{U_{\phi 1н}}{\omega_{\varepsilon n1н} \cdot k_{01н}} \quad (4.2)$$

При збереженні типу і кроку обмотки

$$\omega_{\varepsilon n1н} = \omega_{\varepsilon n1} \cdot \frac{U_{\phi 1н}}{U_{\phi 1}} \quad (4.3)$$

При збереженні щільності струму

$$\frac{I_{\phi 1н}}{I_{\phi 1}} = \frac{U_{\phi 1}}{U_{\phi 1н}} = \frac{Q_{\varepsilon \phi 1н}}{Q_{\varepsilon \phi 1}} \quad (4.4)$$

або

$$Q_{\varepsilon \phi 1н} = Q_{\varepsilon \phi 1} \cdot \frac{U_{\phi 1}}{U_{\phi 1н}} \quad (4.5)$$

Таким чином, при збереженні частоти обертання, щільності струму та потужності число ефективних дротів в пазу змінюється прямо пропорційно, а їх перетин – зворотно пропорційно новій та старій напрузі.

При збільшенні числа дротів в пазу збільшується об'єм, що займає ізоляція дротів. Тому необхідно застосувати більш товсті

елементарні провідники, що входять до ефективного дроту, або обмотувальні дроти з більш тонкою ізоляцією. Іноді зменшують число паралельних гілок у фазі і тим самим збільшують перетин дроту у кожній із паралельних гілок.

Проте вказані заходи по збільшенню коефіцієнта заповнення паза не завжди можна здійснити або їх ефект може виявитися недостатнім. Крім того, перехід на більш високу напругу може бути пов'язано зі збільшенням товщини пазової ізоляції. Тому не завжди вдається зберегти загальний перетин міді у пазу, що призводить до необхідності зниження потужності електродвигуна.

При переводі крупних електродвигунів з номінальної напруги 3 кВ на 6 кВ зниження потужності практично досягає 15 – 20 %.

Перехід електродвигунів на понижену напругу у багатьох випадках дозволяє збільшити їх потужність завдяки зменшенню числа ефективних дротів в пазу та зменшенню пазової ізоляції.

Перерахунок електродвигуна на іншу напругу включає в себе наступні розрахунки. Число ефективних дротів в пазу визначається за формулою (4.3). Отримане значення $\omega_{\text{енн}}$ округляємо до найближчого парного числа.

За формулою (4.5) визначають перетин елементарного дроту без ізоляції.

Діаметр елементарного провідника без ізоляції, мм:

$$d_{\epsilon 1н} = 1.13 \sqrt{q_{\epsilon 1н}} \quad (4.6)$$

Значення $d_{\epsilon 1н}$ округляємо до найближчого стандартного діаметру.

Діаметр ізольованого провідника при збереженні марки дроту, мм:

$$d_{\epsilon n1н} = d_{\epsilon 1н} + \Delta \quad (4.7)$$

де Δ - товщина ізоляції на обидві сторони, зазвичай приймається 0.21 мм.

Зменшення діаметра дроту викликає зменшення коефіцієнта заповнення дроту.

$$K'_1 = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_{\epsilon 1}}{d_{\epsilon u1}} \right)^2 \quad (4.8)$$

$$K'_{1н} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_{\epsilon 1н}}{d_{\epsilon u1н}} \right)^2 \quad (4.9)$$

Зменшення коефіцієнта заповнення дроту $K'_{1w} < K'_1$ при одночасному збільшенні кількості дротів, що укладають в паз, може привести до ушкодження ізоляції при укладці обмотки. Тому необхідно застосовувати дріт іншої марки з більш тонкою ізоляцією або застосувати для ізоляції паза і прокладок більш тонкі матеріали з підвищеною електричною міцністю.

Якщо ці заходи неможливо здійснити, то раціонально змінити обмоткові дані – виконати обмотку з однією гілкою у фазі замість двох, без розбиття ефективного дроту на елементарні провідники. Тому значення $q_{\epsilon 1w}$ збільшиться у 2 рази.

4.2 Хід роботи

Розрахувати електродвигун напругою U на наругу U_2 згідно параметрів електродвигуна, наведених у таблицях Б.1. Розрахувати число ефективних дротів в пазу та їх перетин при збереженні схеми обмотки і кількості елементарних провідників в ефективному дроті. Проаналізувати зміну коефіцієнту заповнення паза та заходи, необхідні для її запобігання.

4.3 Зміст звіту

1. Мета заняття
2. Перерахунок частоти обертання асинхронного двигуна
3. Висновки

4.4 Контрольні запитання

1. Поясніть як відрізняються знайдені місця пошкоджень в обмотці машин постійного струму методом вимірювання різниці величини падіння напруги.
2. Вкажіть причини та ознаки замикання між щітками або кінцями секцій обмотки якоря та поясніть засоби виявлення місць цього пошкодження.
3. Вкажіть можливі причини та ознаки замикання обмотки якоря на корпус та виявлення місця пошкодження.
4. Вкажіть вимоги та ознаки обриву в обмотці якоря та поясніть, як виявляється місце цього пошкодження.

5. Поясніть як виявляється місце замикання в обмотці збудження машин постійного струму.

6. Поясніть як виявляються місця обриву в обмотках збудження машин постійного струму.

7. Поясніть як виявляється місце замикання обмоток збудження на корпус в машинах постійного струму.

8. Вкажіть послідовність роботи з ремонту обмотки збудження машин постійного струму та поясніть порядок їх виконання.

9. Вкажіть обсяг випробувань машин постійного струму після ремонту та поясніть норми та порядок перевірки опору ізоляції обмоток відносно корпусу і між собою, вірності маркування виводів, вимірювання опору обмотки, проведення дослідів холостого ходу.

10. Вкажіть чергування основних та додаткових полюсів електричних машин постійного струму та поясніть порядок його перевірок.

11. Поясніть як перевіряється маркування виводів електричних машин постійного струму та їх полярність.

12. Вкажіть та поясніть засоби перевірки узгодження паралельної та послідовної обмотки збудження електричних машин постійного струму.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Маршак Е.Л. Ремонт и модернизация асинхронных двигателей. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Маршак Е.Л. – М., «Энергия», 1976. – 264 с.
2. Лихачев В.Л. Справочник обмотчика асинхронных электродвигателей / Лихачев В.Л. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 240 с.
3. Соколов Р.И. Эксплуатация и ремонт крупных вертикальных электродвигателей / Соколов Р.И. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.
4. Котеленец Н.Ф. Випробування й надійність електричних машин / Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. – М.: Высш. шк., 1988.
5. Коварский Е.М. Випробування електричних машин/ Коварский Е.М., Янко Ю.І. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Жерве Г.Н. Промислові випробування електричних машин/ Жерве Г.Н. – Л.: Энергоатомиздат, 1984.
7. Гольдберг О.Д. Випробування електричних машин/ Гольдберг О.Д. – М.: Высш. шк., 1990.

Додаткова

8. Власенко Р. В. Аналіз енергетичних процесів в трифазному силовому активному фільтрі з використанням спектрального моделювання / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 12-18.
9. Яримбаш Д. С. Розрахунок параметрів головних шинних пакетів секцій печей графітації змінного струму [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Д. С. Яримбаш, С. Т. Яримбаш – Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. ISBN 978-617-529-171-9 Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/2682>
10. Міщенко Т. М. Перспективи схемотехнічних рішень і моделювання підсистем електричної тяги при високошвидкісному русі поїздів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 19-28.
11. Трушевський В. Е. Застосування автоматичних стрілок тролейбусу як детекторів в системах світлофорного авторегулювання / В. Е. Трушевський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 29-31.
12. Ершов А. В. Конвективный и лучистый теплообмен при плавлении проволоки в струе дуговой плазмы / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 37-42.

13. Крисан Ю. О. Модернізація лабораторного стенда дослідження асинхронного електропривода / Ю. О. Крисан // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 49-54.

14. Ярымбаш Д. С. Повышение энергоэффективности электротехнического комплекса графитации при модернизации боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 132/2012. Серія: Механіка, енергетика, екологія. 2012. С. 93–100

15. Сивокобыленко В. Ф. Совершенствование пусковых органов бавр в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой / В. Ф. Сивокобыленко, С. В. Деркачев // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 61-67.

16. Килимник И.М. Повышение эффективности обработки информации при регистрации контролируемых параметров в системах автоматического управления / И.М. Килимник, Д.С. Ярымбаш // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. 2007. – № 1. – С. 68 – 73

17. Ткаченко С. Н. Энергосистема будущего. Концепция smart grid. Специфика реализации на Украине / С. Н. Ткаченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 68-73.

18. Ярымбаш Д.С. Повышение эффективности управления режимами электрического обогрева при прессовании заготовок подовых блоков / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрудный // Електротехніка и електроенергетика. – Запорожье: ЗНТУ, 2006. – № 2. – С. 56 – 60.

19. Немудрый И. Ю. Повышение эффективности преобразования энергии в ветроэлектрических установках с аэродинамической мультипликацией / И. Ю. Немудрый // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 79-86.

20. Андриенко П.Д. Особенности моделирования температурного состояния технологической системы как объекта управления / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // Електромашинобудування та електрообладнання, 2006. №66 – С. 291–293.

21. Морозов Д. І. Вентильний двигун постійного струму на базі синхронної машини оберненої конструкції / Д. І. Морозов, І. С. Шевченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 6-12.

22. Власенко Р. В. Порівняння методів компенсації неактивної потужності трифазним силовим активним фільтром з адаптивним релейним регулятором струму / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 20-27.

23. Ярымбаш С. Т. Идентификация характеристик системы резистивно-индукционного нагрева для транспортировки хлора методами математического моделирования / С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, Д. С.

Ярымбаш, Д. А. Литвинов // Материалы МНТК «ПАЭП. Теория и практика». – Харьков, 2010. – С. 320–324.

24. Михайленко В. В. Аналіз електромагнітних процесів у дванадцятипульсному напівпровідниковому перетворювачі з п'ятизонним регулюванням вихідної напруги / В. В. Михайленко, В. І. Чибеліс, Ю. П. Орлиця, О. Р. Трофименко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 28-31.

25. Андриенко П. Д. Особенности непрерывного контроля характеристик влагосодержания изоляции маслonaполненного электрооборудования / П. Д. Андриенко, А. А. Сахно, С. П. Конограй, Л. С. Скупская // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 32-40.

26. Ярымбаш Д. С. Анализ электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах Ачесона / Д. С. Ярымбаш // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 2014. №6 – С. 11 – 21.

27. Задорожня И. Н. Анализ свойств систем автоматического управления двухмассовым электроприводом при синтезе параметров на основе стандартных характеристических полиномов / И. Н. Задорожня, Н. А. Задорожний // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 54-58.

28. Ярымбаш Д. С. Численно-полевой анализ электромагнитных и электротепловых процессов в шинных пакетах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Ползуновский вестник. – 2013. – №4–2. – С. 216–222

29. Тиховод С. М. Моделирование переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 59-68.

30. Кулинич Э. М. Уточнение модели автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием технологического процесса приготовления газобетона / Э. М. Кулинич // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 69-76.

31. Волков В. А. Оценка возможности осуществления гидроаккумуляции на существующих гидроэлектростанциях днепровского каскада Украины / В. А. Волков // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 77-82.

32. Ярымбаш, Д.С. Особенности определения параметров электрической схемы замещения печной петли печи графитации переменного тока [Текст] / Д.С. Ярымбаш, И.М. Килимник, С.Т. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. №2. – С. 36 – 43.

33. Ярымбаш, Д.С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш, И.М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. – 2011. – №1. – С. 64 – 69.

34. Ярымбаш Д.С. Особенности измерения переменного тока в токоподводах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2005. - №1. – с. 74 – 76.

35. Ярымбаш, Д. С. Исследование электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах графитации переменного и постоянного тока / Д. С. Ярымбаш // Науковий вісник НГУ – 2015. – №3. – С.95–102.

36. Ярымбаш, Д.С. Повышение энергоэффективности бокового шинопакета печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш // Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність. – 2011, С. 229 – 233.

37. Ярымбаш, Д. С. Особенности моделирования электромагнитных процессов в индукторе калибра мундштука прессы / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник // Вісник кременчуцького державного політехнічного університету. – 2007. – №4 (45) Частина 1. – С. 53–55.

38. Ярымбаш, Д. С. Особливості розподілення магнітних потоків у режимі неробочого ходу силових трансформаторів / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 5-12.

39. Ярымбаш Д. С. Особливості визначення параметрів короткого замикання силових трансформаторів засобами польового моделювання / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 12-17.

40. Yarymbash D.S. On specific features of modeling electromagnetic field in the connection area of side busbar packages to graphitization furnace current leads / D.S.Yarymbash, A.M. Oleinikov // Russian Electrical Engineering, 2015, Vol.86, Issue 2, pp. 86 – 92.

41. Ярымбаш Д.С. Моделирование температурных режимов электротехнологической системы «индукторы - мундштуки» на подготовительном этапе тура прессования / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // Електротехніка та електроенергетика. 2006. № 1. - С. 56-60.

42. Коцур М.И. Оценка теплового состояния изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором с модифицированной системой импульсного регулирования / М.И. Коцур, // Електротехніка та електроенергетика. – 2013 –№1 – С.31-36.

43. Коцур, М. И. Особенности ударного теплового воздействия на асинхронный двигатель с модифицированной системой импульсного регулирования в условиях частых пусков / М. И. Коцур, // Електротехніка та електроенергетика. – 2014 – №1 – С. 32 – 36.

44. Коцур М. И. Повышение эффективности режима торможения противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором / М. И.

Коцур, И. М. Коцур, А. В. Близняков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №1/8(73). – С.27-30.

45. Андриенко П.Д. Применение методов математического моделирования для определения параметров индуктора / П.Д. Андриенко, И.М. Коцур, Д.С. Ярымбаш // Вестник СевНТУ – Севастополь, 2008. – Вып. 88. – С. 117 – 120.

46. Коцур, М. И. Повышение эффективности электропривода вентиляторных установок / М. И. Коцур, И. М. Коцур, Н. С. Иваницкий, Д. А. Кравченко, В. Г. Савельев // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2017. №25(101) – С. 9 – 16.

47. Ярымбаш Д. С. Применение адаптированных схемных моделей для расчета токов короткой сети мощных электротехнических комплексов / Д. С. Ярымбаш // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. №2. – С. 72–76.

48. Kotsur, M.I. Converter for frequency-current slip-power recovery scheme / M.I. Kotsur, P.D. Andrienko, I. M. Kotsur, O.V Bliznyakov // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2017. - №4 – С. 49-54.

49. Ярымбаш, Д. С. Особенности трехмерного моделирования электромагнитных полей асинхронного двигателя / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // Електротехніка та електроенергетика – 2016. – №2 – С. 43 – 50.

50. Ярымбаш Д.С. Особенности идентификации интенсивности солнечной радиации при проектировании солнечных электростанций / Д. С. Ярымбаш, Ю.В. Даус // Електротехніка та електроенергетика. - 2014 - № 1 - С. 74-78.

51. Yarymbash, D., Kotsur, M., Subbotin, S., Oliinyk, A. A New Simulation Approach of the Electromagnetic Fields in Electrical Machines. IEEE: The International Conference on Information and Digital Technologies, July 5th - 7th, Zilina, 2017, Catalog Number CFP17CDT-USB, pp. 452-457.

52. Ярымбаш, Д. С. Особенности определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя для режима короткого замыкания / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // Електротехніка та електроенергетика – 2017. – №1– С. 24 – 30.

53. Дивчук, Т. Э. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Э. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, И. М. Коцур, Ю. С. Безверхняя // Електротехніка та електроенергетика. – 2017. – № 2. - С. 56-66.

54. Kotsur, M. A New Approach of the Induction Motor Parameters Determination in Short-Circuit Mode by 3D Electromagnetic Field Simulation [Text] / M. Kotsur, D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kotsur // International Young

Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF), October 17th - 20th, Lviv, Ukraine, 2017, pp. 207-210

55. Kotsur, M. I. Increasing of Thermal Reliability of a Regulated Induction Motor in Non-Standard Cycle Time Conditions [Text] / M. I. Kotsur, I.M. Kotsur, Yu. Bezverkhnia, D. Andrienko // IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017, pp. 88-91

56. Ярымбаш Д. С. Идентификация электрических параметров шихтованных шинных пакетов мощных коротких сетей / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2012. – № 2. – С. 55 – 61.

57. Yarymbash D. Features of Defining Three-Phase Transformer No-Load Parameters by 3D Modeling Methods [Text] / D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk, D. Litvinov // IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017, pp. 132-135.

58. Kotsur, M. Speed Synchronization Methods of the Energy-Efficient Electric Drive System for Induction Motors / M. Kotsur, D. Yarymbash, I. Kotsur, Yu. Bezverkhnia // IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018.

59. Yarymbash, D. An Application of Scheme and Field Models for Simulation of Electromagnetic Processes of Power Transformers [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk // IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018.

60. Дивчук, Т.Е. Особенности определения параметров силовых трансформаторов методами схемно-полевого моделирования / Дивчук, Т.Е., Д. К. Мимоход, С. А. Кутилин, А. Е. Кузнецов, Ю. В. Гуразда, И. С. Сирых // Електротехніка та електроенергетика. – 2017. – № 1. – С. 61-70.

61. Ярымбаш, Д.С. Идентификация электрических параметров печной петли мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // «Електротехніка та електроенергетика». – 2012. №1. – С. 49 – 54.

62. Ярымбаш, Д.С. Особенности контроля электрических параметров, мощности и энергопотребления во время кампании графитации в печи переменного тока / Ярымбаш Д.С., Ярымбаш С.Т., Тютюнник О.В. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006, Вип. 3/2006(38), – С. 53 – 55.

63. Малюшевская А.П. Дослідження впливу підвищених температур на експлуатаційні властивості трансформаторного масла Т-1500 в плівкових ізоляційних системах / АП Малюшевская, АЯ Дмитришин, СО Топоров // Електротехніка та електроенергетика – 2015. - №1. – С. 21-25.

64. Верещаго Е.Н. Модель электрической дуги в MATLAB/SIMULINK / Е.Н. Верещаго, В.И. Костюченко // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. - №2. – С. 40-46.
65. Ярымбаш Д. С. Анализ энергоэффективности конструкции торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д. С. Ярымбаш, А. М. Олейников // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 26-34.
66. Иванков В. Ф. Электротепловые расчетные модели элементов конструкции трансформаторного оборудования / В. Ф. Иванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 41-53
67. Ярымбаш Д.С. Особенности расчета электродинамической стойкости шихтованных шинных пакетов короткой сети печи графитации / Д.С. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Механіка. Енергетика. Екологія. 2014. – С. 131 – 136.
68. Ярымбаш Д. С. Влияние расположения заготовок электродов на распределение удельной мощности в керне печи Ачесона / Д. С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 5-11
69. Ivankov V. F. Calculation of CFD-thermal models of oil-cooled transformer equipment / V. F. Ivankov, A. V. Basova // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 19-32.
70. Ципленков Д. В. Методи та засоби зниження технічних втрат електроенергії В елементах систем електропостачання / Д. В. Ципленков, П. Ю. Красовський // Електротехніка та електроенергетика. 2015. № 1. С. 77–82.
71. Костін М. О. Енергетичні спектри випадкових процесів тягових напруг і струмів електротранспорту / М. О. Костін // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 71-80
72. Літвінов Д. О. Схемно-польове моделювання теплових процесів в асинхронних двигунах / Д. О. Літвінов, О. О. Шлянін, Т. В. Бондарчук, О. В. Стремідловська, Ріхам Матар // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 71-78
73. Остренко М. В. Расчет потерь в элементах конструкции силовых трансформаторов и реакторов методом конечных элементов с граничными условиями импедансного типа / М. В. Остренко, С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 33-42.
74. Курись Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. № 1. - С. 4–10.
75. Лебедев В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 11–16.

76. Волкова О. Г. Методика определения температуры поверхности силовых разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 17–20.

77. Мельников В. О. Компенсация влияния несимметрии обмоток статора асинхронного двигателя в системах векторного управления / В. О. Мельников, А. П. Калинов, И. М. Кочуров // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 26–33.

78. Остренко В. С. Оценка času эксплуатации IGBT4 модулей в режиме циклического нагружения / В. С. Остренко // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 34–38.

79. Курись Л. В. Схема тягового электротехнического комплекса транспортного средства с накопчиком энергии / Л. В. Курись, О. В. Бялобрыжский // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. № 1. - С. 4–10.

80. Ярымбаш Д.С. Анализ энергоэффективности торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // *Электротехника та електроенергетика*. – 2013. – № 2. – С. 23 – 30.

81. Лебедев В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 11–16.

82. Волкова О. Г. Методика определения температуры поверхности силовых разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 17–20.

83. Мельников В. О. Компенсация влияния несимметрии обмоток статора асинхронного двигателя в системах векторного управления / В. О. Мельников, А. П. Калинов, И. М. Кочуров // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 26–33.

84. Остренко В. С. Оценка часу эксплуатации IGBT4 модулей в режиме циклического нагружения / В. С. Остренко // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 34–38.

85. Тиховод С. М. Усовершенствование итерационных методов решения систем нелинейных уравнений / С. М. Тиховод // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 46–49.

86. Шкрабець Ф. П. Техніко-економічна оцінка оптимального рівня напруги для електроживлення робочих горизонтів глибоких шахт / Ф. П. Шкрабець, О. В. Остапчук, А. В. Кожевников, А. В. Акулов // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С. 50–54.

87. Волков В. А. Совершенствование частотного пуска гидроагрегата гидроаккумулирующей электростанции в насосном режиме / В. А. Волков, Д. В. Довбишук // *Электротехника та електроенергетика*. - 2015. - № 1. - С.55–61.

88. Літвінов В. В. Удосконалення методу оцінювання надійності схем релейного захисту / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 62–69.

89. Дьяченко В. В. Формирование программы энергосбережения для систем электроснабжения / В. В. Дьяченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 70–76.

90. Тиховод С. М. Расчет переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения с использованием полиномов Чебышёва / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 5-14.

91. Коваленко М. А. Автономний експериментальний стенд для випробування уніполярного крокового двигуна на базі мікроконтролера / М. А. Коваленко, Д. С. Мацюк // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 15-20.

92. Іванков В. Ф. Верифікація методів електротеплових розрахунків електричних реакторів без сталі / В. Ф. Іванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 26-34

93. Токмаков И. В. Моделирование электромеханических переходных процессов в асинхронных двигателях на основе использования полиномов чебышёва / И. В. Токмаков // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 35-41.

94. Сидорец В. Н. Особенности анализа распределения тока высокой частоты в осесимметричных электродах электрохирургических инструментов / В. Н. Сидорец, А. Г. Дубко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 42-47.

95. Тиховод С. М. Метод ускоренного численного расчета переходных процессов в электрических цепях на основе аппроксимации решения алгебраическими полиномами / С. М. Тиховод, Т. М. Корнус, Д. Г. Паталах // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 48-54.

96. Андриенко П.Д. Моделирование электромагнитных и тепловых процессов при индукционном нагреве мундштука пресса / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2008. – Вып. 92. – С. 163 – 167.

97. Ярымбаш Д.С. Особенности моделирования электромагнитного поля в зоне подключения боковых шинных пакетов к токоподводам печи графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Электротехника. – М.: Знак. – №2. 2015. – С. 44 – 50.

98. Ярымбаш Д. С. Динамическая адаптация схемных моделей короткой сети / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 65-70.

99. Міщенко Т. М. Геометричне трактування реактивної потужності та його зв'язок зі спектральним складом тягових напруги та струму швидкісних електровозів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 81-86.

100. Скалько Ю. С. Удосконалення групового регулювання гідроагрегатів дніпровської гес за допомогою нечіткої логіки / Ю. С. Скалько // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 95-99.

101. Коцур М. И. Определение оптимальной частоты коммутации вентилей преобразователя по схеме частотно-токового асинхронно-вентильного каскада / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. А. Андриенко, Д. С. Андриенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 5-11.

102. Малюшевська А. П. Вплив складу і морфології конденсаторних полімерних плівок на термостабільність їх короточасної електричної міцності / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 18-24.

103. Цабенко М. В. Системи антипомпажного керування відцентровим компресором / М. В. Цабенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 35-41.

104. Слободенюк Ю. О. Модель розрахунку миттєвих параметрів режиму системи тягового електропостачання при русі електровозу / Ю. О. Слободенюк, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 42-48.

105. Ярымбаш Д.С. Особенности обработки данных регистрации электрических параметров электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2014. №2 – С. 59 – 65.

106. Ярымбаш Д. С. Оценка погрешности сенсоров тока автоматизированной системы управления технологическим процессом графитации / Д.С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – № 03(79) – 2011

107. Чередник Н. Г. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки при паралельній та автономній роботі з урахуванням явища насичення магнітної системи генератора / Н. Г. Чередник, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 49-56.

108. Ярымбаш Д.С. Идентификация параметров электродинамической стойкости короткой сети мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. Вип. 3/2012 (19). – С. 487 – 490

109. Власенко Р. В. Корекція алгоритму визначення заданого струму силового активного фільтра на основі теорії фрізе в умовах несиметрії / Р. В.

Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 57-63.

110. Ярымбаш Д.С. Особенности оптимизации электрических режимов графитации / Д.С. Ярымбаш // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса, 2014. – №15 (91). – С. 215 – 219.

111. Малюшевська А. П. Вплив морфологічних особливостей конденсаторних полімерних плівок на їх деформаційні властивості / А. П. Малюшевська, Г. М. Ющишина // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 13-18.

112. Ярымбаш Д.С. Идентификация электрических параметров торцевых ошинок печей сопротивления прямого действия / Д.С. Ярымбаш, А. М.Олейников, С. Т.Ярымбаш, И.М. Килимник // Вестник НТУ «ХПИ», 2013. №36. –С. 466–470

113. Андрієнко П. Д. Дослідження динамічних режимів електродвигуна послідовного збудження з імпульсними схемами регулювання електроприводу / П. Д. Андрієнко, С. І. Шило, О. О. Каплієнко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 51-58.

114. Золотаревский А. И. Исследование спектральной зависимости диэлектрической проницаемости некоторых полярных диэлектриков в диапазоне низких частот / А. И. Золотаревский, С. П. Лушин // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 6-11.

115. Малюшевська А. П. Довготривала електрична міцність полімерних плівок під дією електричного поля / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров, В. І. Гунько // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 12-17.

116. Ярымбаш Д.С. Повышение эффективности использования фотопанелей на солнечных электростанциях / Д. С. Ярымбаш, Ю. В. Даус // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2015. - № 1. - С. 22-28

117. Ярымбаш Д.С. Исследование электромагнитных и электротепловых процессов в области торцевых шинных пакетов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. №11. – С. 60–68.

118. Качан Ю. Г. Застосування просторових електричних полів задля створення теплових перешкод у камерних печах / Ю. Г. Качан, А. А. Візер, А. В. Сибір // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 18-23.

119. Василенко О. В. Модель крокового двигуна для дослідження систем автоматичного позиціонування в ECAD / О. В. Василенко, Є .Л. Жавжаров // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 31-38.

120. Ярымбаш Д.С. Особенности распределения электрической мощности нагрева в керне печи графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2013. – вип. 37. – С. 94 – 100

121. Дзензерский В. А. Разработка алгоритма автоматизированного контроля электрохимических накопителей энергии / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, В. В. Лисунова // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 1. - С. 39-47.

122. Ярымбаш Д.С. Идентификация температурных зависимостей удельных электрических сопротивлений керна в процессе графитации / Д.С. Ярымбаш // *Электротехника и электромеханика*. - 2014. №2. - С. 66 – 70.

123. Алексеевский Д. Г. Определение рабочей области иппн в составе электромеханической системы взу с переменной скоростью вращения / Д. Г. Алексеевский, П. Д. Андриенко, К. О. Турышев, О. О. Панкова // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 1. - С. 79-85.

124. Ярымбаш Д.С. Особенности расчета токов короткого замыкания мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш // *Электротехника та електроенергетика*. - 2012. - № 1. - С. 23-30

125. Зиновкин В. В. Влияние нестационарных электромагнитных процессов на электромеханические параметры в синхронном электроприводе / В. В. Зиновкин, Н. Л. Антонов, Ю.А. Крисан // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 6-17.

126. Zirka S. E. Topological transient models of three-phase five-limb transformer / S. E. Zirka, Y. I. Moroz, C. M. Arturi, D. Bonnman // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 18-25.

127. Ярымбаш Д.С. Метод частотной адаптации уравнений Максвелла для переменного тока к рекуррентным уравнениям в формулировках для постоянного тока / Д.С. Ярымбаш // *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Автоматизація процесів та управління*. – Севастороль. 2014. – С. 203 – 206

128. Мацуй А. М. Теоретичне і експериментальне дослідження магнітоелектричної системи, що сприймає крупність пісків односпірального класифікатора / А. М. Мацуй, В. О. Кондратець // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 38-49.

129. Ярымбаш Д.С. Выбор критерия энергоэффективности боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // *Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність* – 2012.

130. Паталах Д. Г. Численный безытерационный метод моделирования электромеханических процессов в асинхронных двигателях / Д. Г. Паталах, С. М. Тиховод, Т. М. Корнус // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 50-55.

131. Ярымбаш Д.С. Особенности идентификации электрических параметров контура печи графитации переменного тока методами полевого моделирования и оптимизации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников //

Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. Вип. 15/2014. – Севастороль. 2014. – С. 108 – 112.

132. Дивчук Т. Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Е. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, М. И. Коцур, Ю. Безверхняя // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 56-66.

133. Лаврич Ю. М. Методологічний підхід до побудови енергоощадної системи аварійного освітлення / Ю. М. Лаврич, Л. М. Погоріла, А. Ю. Подчасов // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 67-73.

134. Шутенко О. В. Анализ динамики изменения критериев, используемых для интерпретации результатов арг, в исправных высоковольтных трансформаторах негерметичного исполнения / О. В. Шутенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 74-83.

135. Лобов В. Й. Управління газоповітряною енергетичною установкою промислового підприємства / В. Й. Лобов, К. В. Лобова, А. В. Даць // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 84-95.

136. Милых В. И. Анализ гармонического состава переменного магнитного поля, связанного с вращающимся ротором турбогенератора, в режимах холостого хода и короткого замыкания / В. И. Милых, Н. В. Полякова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 5-13.

137. Китаев А. В. Схемы замещения электрических машин / А. В. Китаев, В. Л. Агбомассу, В. И. Глухова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 14-26.

138. Верещаго Е. Н. Модель электрической дуги в MATLAB / SIMULINK / Е. Н. Верещаго, В. И. Костюченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 40-46.

139. Ершов А. В. Влияние магнитного поля проводника на течение металла на торце проволоки в дуговом разряде / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 62-65.

140. Пожуєв В. І. Визначення ефективності існуючих гідроенергетичних систем / В. І. Пожуєв, В. В. Радченко, Ф. П. Шкрабець, В. Г. Кучер, В. П. Кобець // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 71-76.

141. Олейников А.М. Математическая модель автономной безредукторной ветроэлектрической установки на генераторе с постоянными магнитами / А.М. Олейников, Л.Н. Канов, Ю.В. Матвеев, Е.И. Зарицкая // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – № 2. – С.62 – 67.

142. Гребеников В.В. Исследование влияния конфигурации магнитной системы на моментные характеристики электродвигателей с постоянными магнитами / В.В. Гребеников, М.В. Приймак // Електротехніка та електроенергетика. – 2009. - №2. - С. 57-60.

Додаток А

Таблиця А.1 – Варіанти індивідуальних завдань

	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, B	220	127	380	380	220	220	220	380	220	220
Z_1	54	36	48	72	48	72	54	36	54	48
Z_2	51	34	41	58	44	58	51	34	50	38
D_{n1}	22.5	22.5	27.2	31.3	27.2	34.9	22.5	22.5	27.2	39.2
D_{e1}	15.8	14.5	18.5	22	19.7	25	15.8	14.5	19.7	26.4
D_{n2}	15.76	13.8	18.0	21.55	19.25	24.5	15.76	13.7	19.25	25.5
D_{e2}	4.0	5.5	6.0	7.5	6	7.5	4	6.0	7.5	8.5
$l_{c1}=l_{c2}$	11.5	11.5	18.0	14.5	14.5	18.5	16.0	16.0	20.0	20.0
n_c	1000	1500	1500	1000	750	750	1000	1500	1000	1500
$k_{c1}=k_{c2}$	0.95	0.97	0.93	0.95	0.95	0.93	0.95	0.97	0.93	0.95
n_{n1}	2	0	3	4	2	6	2	0	3	4
b_{k1}	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5
b_1''	0.54	0.55	0.83	0.68	0.87	0.75	0.55	0.82	0.8	1.08
b_1'	0.36	0.37	0.55	0.46	0.58	0.5	0.37	0.55	0.54	0.72
b_2''	0.64	0.65	0.96	0.86	0.96	0.84	0.65	1.01	0.84	1.36
b_2'	0.43	0.44	0.64	0.58	0.64	0.56	0.45	0.67	0.56	0.88
Q_{n1}	225	132.5	177.1	166.6	193.1	212	205.6	128	148	169.3
Q_{n2}	32	22	26.0	20.6	25.4	31.4	27.7	21.1	23.5	47.4
h_{n1}	1.66	1.95	1.36	2.28	2.22	2.96	1.82	1.75	1.65	2.32
h_{n2}	4.1	2.2	2.82	4.56	5.06	6.46	4.14	1.68	3.5	4.2
β	0.85	0.85	0.75	0.9	0.85	0.8	0.85	0.85	0.75	0.85
	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U, B	220	220	220	380	220	220	220	380	220	220
Z_1	48	72	72	36	36	48	72	48	60	72
Z_2	41	58	56	28	28	38	58	40	50	56
D_{n1}	27.2	34.9	39.2	34.9	34.9	31.3	31.3	43.7	43.7	39.2
D_{e1}	18.5	25	28.4	19.4	19.4	21.1	22	23.2	29	28.4
D_{n2}	18	24.5	27.8	18.5	18.5	20.5	21.55	22	28	27.8
D_{e2}	5.4	7.0	8.5	5.0	3.5	6.0	7.5	6.0	6.0	8.5
$l_{c1}=l_{c2}$	14.0	21.5	17.5	16.0	16.0	14.5	17.0	17.5	22.0	17.5
n_c	1500	1000	1000	3000	3000	1500	750	3000	1500	750
$k_{c1}=k_{c2}$	0.97	0.97	0.95	0.95	0.97	0.95	0.95	0.95	0.97	0.95
n_{n1}	0	3	3	3	0	4	6	0	0	3
b_{k1}	0	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0.5
b_1''	0.76	0.68	1.04	1.2	0.88	0.93	0.82	0.8	1.0	0.74
b_1'	0.5	0.48	0.68	0.8	0.6	0.62	0.55	0.54	0.68	0.48

Продовження табл. А.1

	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
b_2''	0.87	0.88	1.2	1.3	1.18	1.2	0.81	1.04	1.04	1.02
b_2'	0.58	0.6	0.8	0.86	0.78	0.8	0.54	0.7	0.7	0.68
Q_{n1}	206	189	254	335	431	203	107.6	422	286	259
Q_{n2}	28	28.6	34.8	50	61.8	31.3	16.0	50.6	43.7	36.2
h_{n1}	1.98	2.24	2.32	2.56	3.2	1.7	2.54	4.72	3.64	3.16
h_{n2}	3.52	5.66	6.32	1.14	2.18	3.6	5.0	1.54	6.6	7.32
β	0.85	0.7	0.85	0.85	0.75	0.95	0.9	0.8	0.9	0.8
	Варіант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U, B	220	380	380	220	220	380	220	220	380	380
Z_1	48	72	72	72	72	48	36	72	72	48
Z_2	44	58	56	58	82	38	28	56	58	38
$\mathcal{D}_{n1}$	27.2	34.9	43.7	34.9	52	31.3	34.9	43.7	34.9	34.9
$\mathcal{D}_{e1}$	19.7	25	31.7	25	37	21.1	19.4	31.7	25	23.8
$\mathcal{D}_{n2}$	19.25	24.5	31	24.5	36.2	20.5	18.5	31	24.5	23.1
$\mathcal{D}_{e2}$	6.0	7.0	8.5	7.5	12	6.0	5.0	8.5	6.5	7.0
$l_{c1}=l_{c2}$	20.0	26.0	22.0	16.0	19.0	18.5	13.0	18	21.5	21.5
n_c	750	750	750	1000	1000	1500	3000	1000	1000	1500
$k_{c1}=k_{c2}$	0.95	0.97	0.93	0.93	0.97	0.95	0.95	0.95	0.97	0.97
n_{n1}	2	3	6	6	8	6	3	4	3	4
b_{k1}	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
b_1''	1.09	0.64	1.18	0.8	1.32	1.01	1.2	1.04	0.76	1.12
b_1'	0.73	0.42	0.8	0.54	0.86	0.67	0.8	0.68	0.52	0.74
b_2''	0.97	0.84	1.4	0.88	0.92	1.25	1.32	1.24	0.82	1.18
b_2'	0.64	0.56	0.92	0.6	0.62	0.84	0.88	0.84	0.54	0.78
Q_{n1}	177.3	296	195	222	355	238	316	258	232.8	294
Q_{n2}	24.4	35.4	28.8	32.8	56.98	31.3	46	38.4	31.8	44
h_{n1}	2.06	3.16	2.98	2.3	3.18	1.6	2.12	2.32	2.72	2.28
h_{n2}	4.83	6.72	7.92	5.6	8.08	3.74	0.98	7.36	6.48	4.52
β	0.85	0.7	0.9	0.85	0.95	0.95	0.9	0.9	0.75	0.75

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Варіанти індивідуальних завдань

	<i>Варіант</i>						
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>P, кВт</i>	0.55	0.75	1.1	0.75	1.5	4	3
<i>U, В</i>	220	380	380	220	220	127	127
<i>U₂, В</i>	380	500	500	380	380	220	220
<i>n_{c1},об/хв</i>	3000	3000	3000	1500	3000	1000	750
<i>n_{c2},об/хв</i>	1500	1000	1500	3000	1500	750	1000
<i>D_{n2}, см</i>	5.375	6.475	6.475	6.475	7.365	13.17	13.17
<i>D_{e1}, см</i>	5.4	6.5	6.5	6.5	7.4	13.2	13.2
<i>l_c, см</i>	6.5	6.5	7.4	7.4	7.8	12.5	13
<i>Z₁/ Z₂</i>	24/18	24/20	24/20	24/18	24/20	54/51	48/44
<i>ω_{en1}</i>	38	48	73	95	61	13	18
<i>a₁</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>m₁</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>h_{c1}, см</i>	0.8	0.5	1	1.6	0.98	1.08	1.86
<i>h_{c2}, см</i>	0.9	0.7	1.5	1.7	1.1	1.37	2.3
<i>Q_{сф1}, мм²</i>	0.44	0.52	0.51	0.21	0.86	3.77	1.54
<i>J, А/мм²</i>	4.0	4.0	4.5	5.5	5.5	5.2	5.4
<i>β</i>	0.9	0.8	0.85	0.8	1	0.9	0.85
	<i>Варіант</i>						
	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
<i>P, кВт</i>	3.3	1.1	0.8	5.5	7.5	11	22
<i>U, В</i>	380	220	127	127	127	220	220
<i>U₂, В</i>	500	380	220	220	220	380	380
<i>n_{c1},об/хв</i>	3000	1000	1000	1000	1000	1500	1500
<i>n_{c2},об/хв</i>	1500	750	1500	1500	1500	750	1000
<i>D_{n2}, см</i>	10.545	9.775	9.775	15.765	15.765	14.45	21.04
<i>D_{e1}, см</i>	10.6	9.8	9.8	15.8	15.8	14.5	21.1
<i>l_c, см</i>	8.8	9.5	7	11.5	16	11.5	14.5
<i>Z₁/ Z₂</i>	24/20	36/26	36/26	54/51	54/51	36/34	48/38

Продовження табл. Б.1

	<i>Варіант</i>						
	8	9	10	11	12	13	14
ω_{en1}	86	63	49	40	36	68	92
a_1	1	1	1	1	1	1	2
m_1	1	1	1	1	2	2	3
$h_{c1}, \text{ см}$	1.68	0.36	1	2.26	2.3	1.05	2.62
$h_{c2}, \text{ см}$	2.25	0.4	1.18	3.0	3.13	1.37	3.4
$Q_{сф1}, \text{ мм}^2$	1.48	0.57	0.47	2.35	3.38	5.35	13.3
$J, \text{ А/мм}^2$	5.0	4.5	4.5	5.8	5.6	6.0	6.0
β	0.85	1	0.9	0.85	0.9	1	1
	<i>Варіант</i>						
	15	16	17	18	19	20	
$P, \text{ кВт}$	18.5	37	45	37	30	22	
$U, \text{ В}$	380	220	220	220	220	220	
$U_2, \text{ В}$	220	380	380	380	380	380	
$n_{c1}, \text{ об/хв}$	1000	3000	3000	1000	750	750	
$n_{c2}, \text{ об/хв}$	1500	1000	1000	600	600	1000	
$\Delta_{n2}, \text{ см}$	21.955	19.31	19.31	28.34	28.34	24.95	
$\Delta_{e1}, \text{ см}$	22	19.4	19.4	28.4	28.4	25	
$l_c, \text{ см}$	14.5	13	16	17.5	17.5	26	
Z_1/ Z_2	72/58	36/28	36/28	72/56	72/56	72/58	
ω_{en1}	210	160	90	80	96	60	
a_1	2	1	1	3	2	1	
m_1	1	3	4	3	3	2	
$h_{c1}, \text{ см}$	4.0	1.7	2.5	1.9	1.8	2.16	
$h_{c2}, \text{ см}$	5.0	1.8	3.2	2.65	2.4	2.7	
$Q_{сф1}, \text{ мм}^2$	3.08	25	33.2	30.25	14.57	5.18	
$J, \text{ А/мм}^2$	6.5	7.0	6.5	6.0	6.5	7.0	
β	0.8	0.9	0.8	0.85	1	1	