

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до розрахунково-графічного завдання з дисципліни:
"Основи теорії електричних апаратів"

для студентів усіх форм навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності:

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(освітня програма "Електричні та електронні апарати")

2021

Методичні вказівки до розрахунково-графічного завдання з дисципліни "Основи теорії електричних апаратів" для студентів усіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітня програма "Електричні та електронні апарати") / Укл.: О.В. Близняков. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 18 с.

Укладач: О.В. Близняков, доцент, к.т.н.

Рецензент: Л.Б. Жорняк, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: Р.Е. Мохнач

Затверджено на засіданні кафедри
“Електричні та електронні апарати”.
Протокол № 2 від 31 серпня 2021 р.

Рекомендовано до видання
на засіданні НМК ЕТФ.
Протокол № 2 від 23 вересня 2021 р.

З М І С Т

ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО РГЗ	5
2 ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	6
3 ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ЗМІННОГО СТРУМУ	9
ЛІТЕРАТУРА	12
ДОДАТОК А. Вихідні дані до типового розрахунку електромагніту	13

ВСТУП

Розрахунково-графічне завдання (РГЗ) виконується студентами протягом 5-го семестру і присвячується одному з ключових розділів дисципліни «Електромагнітні системи електричних апаратів». Отже, основними об'єктами РГЗ є електромагнітні системи. Слід зазначити, що в наш час електромагнітні системи мають дуже широке розповсюдження в електричних апаратах та інших пристроях. Електромагнітні системи використовуються в електричних апаратах:

- по-перш за все, як *привод*, тобто електромагнітний механізм, що здійснює корисну роботу з переміщення рухомих частин апарата; наприклад, замикання та розмикання контактів комутаційних апаратів;

- як *вимірювальні елементи* електричних та неелектричних параметрів;

- як елементи, що здійснюють *комутацію механічного навантаження*: передачі обертаючого, створення гальмового моменту в електромагнітних муфтах та гальмових електромагнітах і т.д.

- як *перетворювальні елементи*: вимірювальні трансформатори, дроселі, електричні реактори, магнітні підсилювачі та ін. [1–4].

Враховуючи те, що електричні апарати є досить масовою продукцією електротехнічної промисловості, а також більш жорстку конкуренцію на світовому і внутрішньому ринках електротехнічного обладнання, гостро стоїть питання про постійне підвищення його технічного рівня і техніко-економічних показників електромагнітних систем як ключових елементів більшості електричних апаратів: це, по-перше, зниження масогабаритних показників, енергії, що споживається, підвищення швидкодії, зниження технологічних витрат на виробництво та ін.

Отже, в процесі вивчення дисципліни ставиться задача, в першу чергу, якісного вивчення фізичних явищ, що відбуваються в електромагнітних системах. Зокрема, виконання розрахунково-графічного завдання ставить задачу отримати первісні навички розрахунку електромагнітних систем, тобто навчитися розрахунковим шляхом визначати основні параметри магнітних кіл і електромагнітів в цілому. Це, в свою чергу, повинно сприяти більш досконалому засвоєнню матеріалів фахових дисциплін: електричні апарати автоматики та керування, електричні апарати високої напруги, основи проектування електричних та електронних апаратів, курсового та дипломного проектування.

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО РГЗ

Тема РГЗ може бути типовою, наприклад "Розрахунок електромагніта постійного струму" або "Розрахунок електромагніта змінного струму" або нетиповою за індивідуальною взаємною угодою студента та викладача. Для виконання РГЗ студент отримує індивідуальні вихідні дані, які видає викладач. Варіанти вихідних даних для типового розрахунку електромагніту надані у додатку А.

Пояснювальна записка до РГЗ повинна містити у собі такі елементи:

1. Титульний лист.
2. Вихідні дані.
3. Текст пояснювальної записки, що містить у собі такі розділи:
 - визначення магніторушійної сили обмотки електромагніта;
 - розрахунок обмотки електромагніта;
 - визначення електромагнітних сил;
 - визначення часу спрацьовування електромагніта;
 - перелік джерел посилань.

Текст пояснювальної записки повинен містити всю необхідну інформацію, яка пояснює хід виконання РГЗ, а саме:

- схеми та ескізи, оформлені у вигляді рисунків з інформацією про їх зміст та відповідними поясненнями;
- формули з розкриттям значень величин, що входять до неї, та відповідні обґрунтування щодо їх використання;
- пояснення до розрахунків, а також висновки по отриманих результатах.

Одноманітні розрахунки повторювати не рекомендується, а їх результати краще оформлювати у вигляді таблиць. У розділі «Перелік джерел посилань» надається повний перелік літератури, що була використана при виконанні РГЗ (книги, статті, методичні вказівки, інтернет ресурси тощо).

Оформлення пояснювальної записки до РГЗ здійснюється у відповідності з діючими національними стандартами України [12, 13].

2. ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Розрахунок електромагніту постійного струму здійснюється у такій послідовності [2, 3, 5, 7–11]:

1. За заданими розмірами магнітної системи для початкового значення робочого повітряного зазору δ_p і індукції в ньому (див. табл. А.1) потрібно визначити величину магніторушійної сили обмотки. Тобто треба вирішити пряму задачу по розрахунку магнітного кола, для чого потрібно:

а) скласти схему заміщення магнітного кола електромагніта без урахування магнітного опору її феромагнітних елементів і узгодити її з викладачем;

б) виконати розрахунок магнітних провідностей робочого повітряного зазору Λ_δ , неробочих повітряних зазорів $\Lambda_{нi}$, питомої провідності розсіяння λ_s , а також сумарної магнітної провідності повітряних зазорів $\Lambda_{\delta\Sigma}$;

в) розрахувати коефіцієнт випучування для робочого повітряного зазору $\sigma_{вп}$ і визначити магнітний потік у робочому повітряному зазорі

$$\Phi_\delta = B_\delta S_T \sigma_{вп},$$

де S_T – площа торця полюсу;

г) визначити похідну провідності робочого повітряного зазору $d\Lambda_\delta/d\delta$ і електромагнітну силу;

д) магнітопровід по висоті осердя обмотки електромагніта розбити на кілька ділянок (не менше трьох) і розрахувати коефіцієнти розсіяння а також магнітні потоки на межах ділянок та в основі осердя і середні значення потоків на всіх ділянках магнітного кола;

е) визначити величини магнітної індукції на всіх феромагнітних ділянках магнітного кола:

$$B_i = \frac{\Phi_i}{S_i},$$

де S_i – поперечний переріз відповідної ділянки магнітного кола;

ж) по кривим намагнічування для кожної ділянки магнітного кола визначити напруженість магнітного поля H_i та падіння магнітного потенціалу $H_i l_i$;

з) потрібне значення магніторушійної сили обмотки електромагніту визначається як сума падінь магнітного потенціалу у феромагнітних ділянках магнітного кола і робочому та неробочих повітряних зазорах

$$(Iw)_{\text{потр}} = \sum \left(\frac{\Phi_{\delta i}}{\Lambda_{\delta i}} \right) + \sum H_i l_i \quad (2.1)$$

Для зручності об'ємний цифровий матеріал розрахунків виконується у вигляді таблиці.

2. З урахуванням коефіцієнта запасу ($\kappa_3 = 1, 3 \dots 1, 5$) остаточно визначити магніторушійну силу намагнічувальної обмотки

$$(Iw) = \kappa_3 \cdot (Iw)_{\text{потр}}.$$

Використовуючи розраховане значення, визначити параметри обмотки та її геометричні розміри. Для цього потрібно:

а) визначити потрібний переріз і діаметр проводу обмотки;
 б) за сортаментом обрати марку і діаметр проводу без ізоляції (найближчий більший), а також визначити уточнене значення перерізу проводу;

в) визначити кількість витків обмотки; це можна здійснити, виходячи з допустимої щільності струму $j_{\text{доп}}$, яка для даного випадку може бути прийнята в межах 2–4 А/мм²

$$w = \frac{U}{j_{\text{доп}} \rho_0 \left(1 + \alpha \cdot \vartheta_{\text{доп}} \right) l_{\text{в.сер}}},$$

де $l_{\text{в.сер}}$ – середня довжина витка обмотки;

$\vartheta_{\text{доп}}$ – допустима температура нагріву обмотки, яку у даному випадку можна прийняти такою, що дорівнює 105°C;

г) прийнявши висоту обмотки такою, що дорівнює висоті "вікна" магнітопроводу (див. табл. А.1), визначити її товщину;

д) визначити уточнені значення активного опору та магніторушійної сили обмотки.

3. За визначеною величиною магніторушійної сили обмотки для кінцевого значення робочого повітряного зазору δ_k треба визначити магнітний потік і електромагнітну силу у робочому повітряному зазорі. Тобто треба вирішити зворотну задачу по розрахунку електромагніту. Для цього потрібно:

а) розрахувати величини магнітних провідностей робочого і неробочих повітряних зазорів для кінцевого положення якоря, а також сумарну магнітну провідність повітряних зазорів відповідно до схеми заміщення;

б) розрахувати початкове наближення магнітного потоку у робочому повітряному зазорі без урахування падіння магнітного потенціалу

у феромагнітних елементах магнітного кола;

в) визначити магнітну індукцію в магнітопроводі без урахування розсіяння магнітного потоку; якщо величина магнітної індукції значно перевищує індукцію насичення треба її прийняти такою, що дорівнює індукції насичення і за цією величиною визначити початкове наближення магнітного потоку;

г) визначити перше і подальші наближення магнітного потоку у робочому повітряному зазорі з урахуванням падіння магнітного потенціалу в сталі магнітопроводу; тобто потрібно вирішити нелінійне рівняння (2.1) методом простих ітерацій; цей розрахунок рекомендується виконувати за допомогою ПК, використовуючи, наприклад, середовище MathCad;

д) результат розрахунку можна вважати остаточним, якщо точність розрахунків (відносна різниця попереднього і нового наближень магнітного потоку) не перевищує 5%;

з) за визначеною величиною магнітного потоку у робочому повітряному зазорі розрахувати електромагнітну силу.

4. За визначеними параметрами магнітного кола і обмотки треба визначити час спрацьовування електромагніта. Для цього потрібно:

а) розрахувати індуктивність обмотки для початкового значення робочого повітряного зазору

$$L = w^2 \Lambda_{\delta\Sigma} ;$$

б) визначити час зрушення електромагніту, прийнявши коефіцієнт запасу в межах 1,3–1,5;

в) визначити масу рухомих частин і час руху електромагніта з умови, що середня величина протидіючої сили складає 70% від середнього значення електромагнітної сили.

г) визначити час спрацьовування електромагніту.

3. ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ЗМІННОГО СТРУМУ

Розрахунок електромагніту змінного струму здійснюється у такій послідовності [2, 3, 5, 7–11]:

1. За заданими розмірами магнітопровода для кінцевого значення робочого повітряного зазору δ_k (тобто притягнутого положення якоря, див. табл. А.2) треба визначити постійну та змінну складові електромагнітної сили, її мінімальне значення та пульсацію, а також магніторушійну силу обмотки. Для цього потрібно:

а) скласти схему заміщення магнітного кола електромагніта з урахуванням магнітного опору її феромагнітних елементів (розсіяння магнітного потоку не враховувати) і узгодити її з викладачем;

б) виконати розрахунок магнітного опору обох частин робочого повітряного зазору при $\delta_1 = \delta_2 = \delta_k$:

- частини, що не охоплена к.з. витком $R_{m\delta 1}$;

- активної $R_{m\delta 2}$, та реактивної $X_{m\delta 2}$ складових магнітного опору частини зазору, що охоплена к.з. витком;

в) визначити магнітний опір неробочого повітряного зазору $R_{m\delta 0}$ за умови, що $\delta_0 = \delta_k$;

г) за заданим значенням індукції в сталі магнітопровода (див. табл. 1.2) по кривій намагнічування [6] для заданого матеріалу визначити питомі величини її активного ρ_R та реактивного ρ_X магнітного опору;

д) у відповідності до перерізу та довжини середньої магнітної силової лінії визначити активний та реактивний опір сталі магнітного кола;

е) у відповідності до схеми заміщення визначити сумарний магнітний опір магнітного кола $Z_{m\Sigma}$ (розрахунок краще проводити у комплексній формі);

ж) визначити амплітудне значення магнітного потоку в сталі магнітопровода $\Phi_m = B_m S_{ст}$, а також амплітудне значення магніторушійної сили обмотки $F_m = \Phi_m Z_{m\Sigma}$;

з) визначити амплітудні значення магнітних потоків в обох частинах робочого повітряного зазору: $\Phi_{\delta 1m}$ – потік у неохопленій к.з. витком частині; $\Phi_{\delta 2m}$ – потік у охопленій к.з. витком частині; розрахунок виконати з урахуванням насичення неохопленої к.з. витком частини полюса [6];

к) визначити постійну та змінну складові, а також мінімальне значення і пульсацію електромагнітної сили.

2. За визначеною величиною магніторушійної сили, а також заданою напругою живлення треба визначити основні параметри та геометричні розміри обмотки електромагніта. Для цього потрібно:

а) визначити кількість витків обмотки

$$w = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot \Phi_m};$$

б) визначити попереднє (без урахування активного опору) діюче значення струму в обмотці

$$I = \frac{F_m}{\sqrt{2} \cdot w}$$

в) розрахувати потрібний переріз і діаметр проводу обмотки, виходячи з допустимої густини струму $j_{\text{доп}}$, яка для даного випадку може бути прийнята в межах 2...4 А/мм²;

г) за сортаментом обрати марку та діаметр проводу (найближчий за розміром), а також визначити уточнене значення перерізу проводу;

д) виходячи з висоти обмотки, тобто висоти "вікна" магнітопровода (див. табл. 1.2) визначити її товщину;

е) розрахувати активний (з урахуванням активних втрат в сталі магнітопровода) і реактивний опір обмотки, а також уточнене значення струму в обмотці для кінцевого значення робочого повітряного зазору.

3. Для початкового значення робочого повітряного зазору δ_n треба визначити середнє значення електромагнітної сили, що діє на якір електромагніта. Для цього потрібно:

а) розрахувати магнітну провідність робочого повітряного зазору (без урахування магнітної провідності к.з. витка) Λ_δ , а також її похідну $d\Lambda_\delta/d\delta$;

б) розрахувати магнітну провідність неробочого повітряного зазору $\Lambda_{\delta 0}$, а також питому магнітну провідність розсіяння λ_s ;

в) розрахувати сумарну провідність повітряних зазорів $\Lambda_{\delta\Sigma}$, її похідну $d\Lambda_{\delta\Sigma}/d\delta$, а також середнє значення коефіцієнта розсіяння

$$\sigma_{\text{ср}} = 1 + \frac{\lambda_s \cdot l}{3 \cdot \Lambda_{\delta\Sigma}},$$

де l – висота "вікна" магнітопровода (див. табл. А.2);

г) розрахувати середнє значення амплітуди магнітного потоку по висоті осердя

$$\Phi_{\text{м ср}} = \frac{U}{4,44 \cdot f \cdot w}$$

- д) користуючись середнім значенням коефіцієнту розсіяння, визначити амплітуду магнітного потоку у робочому повітряному зазорі;
- е) розрахувати електромагнітну силу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. для вузов [Электронный ресурс] / П.А. Курбатов, В. Н. Шоффа, В. Г. Дегтярь и др.; под ред. П.А. Курбатова – СПб.: Лань, 2015. – 590 с.
2. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. для вузов / [И. С. Таев, Б. К. Буль, А. Г. Годжелло и др.]; под ред. И.С. Таева. – М.: Высшая школа, 1987. – 352 с.
3. Основы теории электрических аппаратов / Б.К. Буль, Г.В. Буткевич, А.Г. Годжелло и др.; под ред. Г.В. Буткевича. – М.: Высшая школа, 1970. – 600 с.
4. Теория электрических аппаратов / Г.Н Александров, В.В. Борисов, Г.С. Каплан и др.; п/ред. проф. Г.Н. Александрова. 2-е изд., перераб и доп. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 540 с.
5. Новиков Ю.Н. Теория и расчет электрических аппаратов / Ю.Н. Новиков. – Л.: Энергия, 1970. – 328 с.
6. Буткевич Г.В. Задачник по электрическим аппаратам / Г.В. Буткевич, В.Г. Дегтярь, А.Г. Сливинская. – М.: Высшая школа, 1987. – 232 с.
7. Любчик М.А. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов / М.А. Любчик. – М.: Энергия, 1974. – 392 с.
8. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты / А.Г. Сливинская. – М.: Энергия, 1972. – 248 с.
9. Гордон А.В. Электромагниты постоянного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. – М.-Л.: ГЭИ, 1969. – 370с.
10. Гордон А.В. Электромагниты переменного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. – М.: Энергия, 1968. – 138 с.
11. Методические указания к практическим занятиям и курсовой работе по курсу "Основы теории электрических аппаратов" для студентов всех форм обучения/Сост. Л.Н. Савельева, А.В. Близняков. – Запорожье: ЗМИ, 1987. – 63 с.
12. ДСТУ ГОСТ 7.1: 2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання: чинний з 2007-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с. (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи) (Національний стандарт України).
13. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання: чинний з 2017-07-01. – К: ДП «УкрНДНЦ», 2016 – 26 с. (Інформація та документація) (Національний стандарт України).

ДОДАТОК А

Вихідні дані до типового розрахунку електромагніту

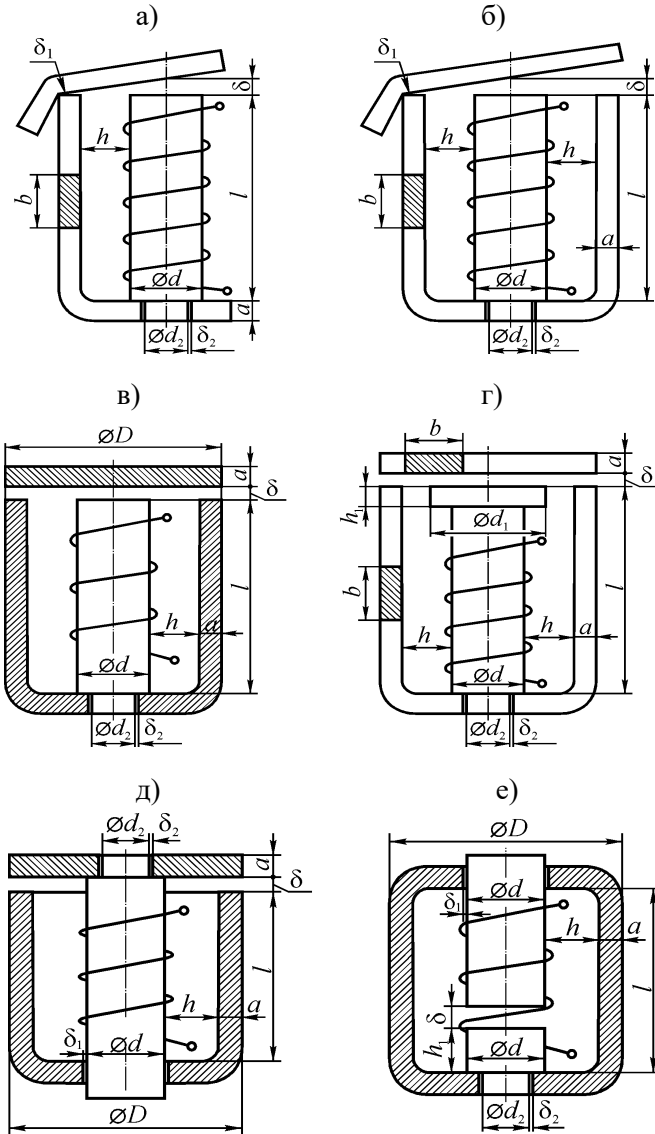


Рисунок А.1 – Варіанти електромагнітів постійного струму

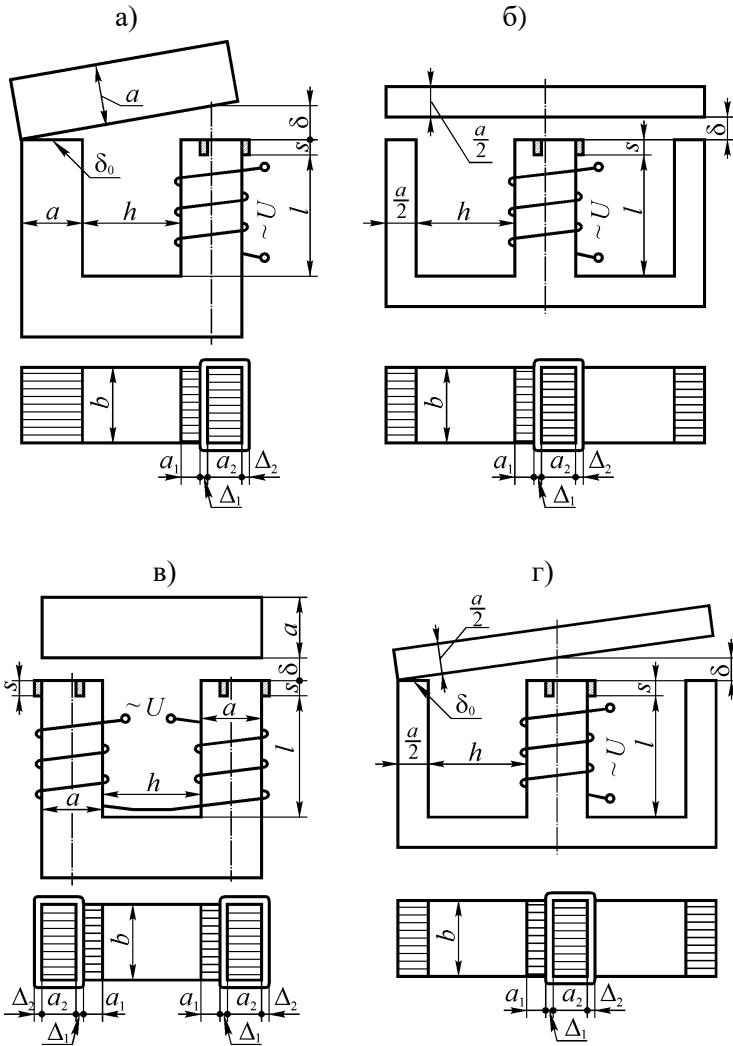


Рисунок А.2 – Варіанти електромагнітів змінного струму

Таблиця А.1 – Вихідні дані до розрахунку електромагніту постійного струму

Номери варіантів	Магнітне коло	Геометричні розміри, мм										Робочий зазор, мм		Індукція, Т (при $\delta = \delta_n$)	Матеріал магнітопроводу	Напруга живлення обмотки, В
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>l</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	δ_1	δ_2	δ_n	δ_k	<i>B</i>		
1	Рисунок А.1а	2	20	30	15		8		5			3		0,08	Сталь конструк- ційна марки 10	6
2		3	25	40	18		10		8			4				12
3		4	30	50	20		14		10			5				48
4		5	35	60	25		15		12	0,1		6	0,2			60
5		6	40	75	30		18		15			7				110
6		8	50	90	35		22		18			8				220
7		10	70	100	40		25		20			10				440
8	Рисунок А.1б	3	25	80	36		10		8			3		0,1	Сталь конструк- ційна марки 20	6
9		4	30	100	40		14		10			4				12
10		5	35	120	50		15		12			5				48
11		6	40	150	60		18		15	0,1		6	0,2			60
12		8	50	180	70		22		18			7				110
13		10	70	190	80		25		20			8				220
14		12	80	200	90		30		25			10				440
15	Рисунок А.1в	2		80	36		10		8			3		0,12	Сталь марки 50НХС	6
16		2		100	40		14		10			4				12
17		3		120	50		15		12			5				48
18		3		150	60		18		15	0,1		6	0,2			60
19		4		200	70		22		18			7				110
20		4		250	80		25		20			8				220
21		4		300	90		30		25			10				440

Продовження табл. А.1

Номери варіантів	Магнітне коло	Геометричні розміри, мм										Робочий зазор, мм		Індукція, Т (при $\delta = \delta_n$)	Матеріал магнітопроводу	Напряга живлення обмотки, В
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>l</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	δ_1	δ_2	δ_n	δ_k	<i>B</i>		
22	Рисунок. А.1г	4	25	80	36	7	10	20	8			4		0,15	Сталь марки 49КФ	6
23		5	30	100	40	8	14	25	10			5				12
24		6	40	120	50	9	15	30	12			6				48
25		8	50	150	60	10	18	35	15	0,1	0,1	7	0,1			60
26		10	60	200	70	10	22	40	18			8				110
27		11	80	250	80	12	25	45	20			10				220
28		12	90	350	90	12	28	50	20			12				440
29	Рисунок. А.1д	2		80	18		20		8			4		0,15	Сталь конструк- ційна марки 20	6
30		2		100	20		25		10			5				12
31		3		120	25		30		12			6				48
32		3		150	30		35		15	0,1	0,1	7	0,1			60
33		4		180	40		40		18			8				110
34		4		190	50		45		20			10				220
35		4		200	60		50		22			12				440
36	Рисунок. А.1е	2		80	36		10		4			4		0,2	Сталь конструк- ційна марки 10	6
37		3		100	40		14		4			5				12
38		4		120	50		15		5			6				48
39		5		150	60		18		5	0,1	0,1	7	0,1			60
40		6		200	70		22		5			8				110
41		8		250	80		25		6			10				220
42		10		300	90		24		6			12				440

Таблиця А.2 – Вихідні дані до розрахунку електромагніту змінного струму

Номери варіантів	Магнітне коло	Геометричні розміри, мм									Робочий зазор, мм		Індукція, Т (при $\delta = \delta_k$)	Матеріал магнітопроводу	Напряга живлення обмотки, В
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>l</i>	<i>h</i>	<i>a</i> ₁	<i>a</i> ₂	Δ_1	Δ_2	<i>s</i>	δ_n	δ_k	<i>B_m</i>		
43	Рисунок А.2а	14	22	55	22	4	8	2	3	3	5	0,05	0,8	Електротехнічна сталь марки 1212	12
44		11	18	50	20	3	6	2	2	2	4		0,85		60
45		15	25	65	25	4	8	3	4	4	6		0,75		110
46		15	25	70	25	4	8	3	4	4	6		0,9		220
47		16	28	75	25	5	9	2	3	3	7		0,9		380
48		16	30	80	30	4	9	3	4	4	7		1,0		660
49		18	32	90	30	5	10	3	4	4	8		1,0		220
50		18	35	95	32	6	10	2	3	3	8		1,1		127
51		20	40	100	35	6	12	2	3	3	8		1,2		380
52		11	20	70	22	3	6	2	3	3	2		0,8		660
53	Рисунок А.2б	16	35	80	25	5	9	2	3	3	5	0,05	1,0	Електротехнічна сталь марки 1511	12
54		18	35	80	25	5	10	3	4	4	6		1,0		60
55		19	40	90	30	5	11	3	4	4	7		1,1		110
56		20	40	95	30	6	12	2	4	4	8		1,2		220
57		20	40	100	32	6	12	2	3	3	10		0,8		380
58		22	45	100	35	6	1311	3	3	3	122		0,85		660
59		18	20	36	20	5	15	2	3	3	3		0,75		220
60		25	30	60	30	8	19	2	2	2	4		0,9		127
61		32	35	80	36	10	28	3	4	4	5		0,9		380
62		45	50	100	40	14	30	3	4	4	6		1,0		660

Продовження табл. А.2

Номери варіантів	Магнітне коло	Геометричні розміри, мм									Робочий за- зор, мм		Індукція, Т (при $\delta = \delta_k$)	Матеріал магнітопроводу	Напряга живлення обмотки, В
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>l</i>	<i>h</i>	<i>a</i> ₁	<i>a</i> ₂	Δ_1	Δ_2	<i>s</i>	δ_n	δ_k	<i>B_m</i>		
63	Рисунок А.2в	14	25	70	25	4	8	3	4	4	6	0,05	0,75	Електротехнічна сталь марки 1212	12
64		11	28	75	25	5	9	2	3	3	7		0,8		60
65		15	30	80	30	4	9	3	4	4	7		0,85		110
66		15	32	90	30	5	10	3	4	4	8		0,9		220
67		16	35	95	32	6	10	2	3	3	8		0,95		380
68		16	40	100	35	6	12	2	3	3	8		1,0		660
69		18	20	70	22	3	6	2	3	3	2		1,1		220
70		18	25	65	20	3	7	3	2	2	3		1,2		127
71		20	28	75	25	4	8	2	4	4	4		1,3		380
72		11	30	90	30	5	9	3	3	4	5		1,4		660
73	Рисунок А.2г	20	40	95	30	6	11	2	4	4	7	0,05	0,75	Електротехнічна сталь марки 1511	12
74		20	40	100	32	6	12	2	3	3	8		0,8		60
75		22	45	100	35	6	13	3	3	3	9		0,85		110
76		18	20	36	20	5	14	2	3	3	10		0,9		220
77		25	30	60	30	8	15	2	2	2	11		0,95		380
78		32	35	80	36	10	19	3	4	4	12		1,0		660
79		45	50	100	40	14	28	3	4	4	13		1,1		220
80		48	50	120	50	16	30	2	3	3	14		1,2		127
81		55	60	150	60	18	35	3	4	4	15		1,3		380
82		65	70	200	70	22	40	3	4	4	16		1,4		660