

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ

Методичні вказівки до курсової роботи
з дисципліни:

"ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ"

для студентів спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка усіх
форм навчання

2017

Розрахунок електромагнітів: Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни "Основи теорії електричних апаратів" для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка усіх форм навчання / Укл.: О.В. Близняков, Л.С. Скрупська. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 18 с.

Укладачі: О.В. Близняков, доцент, к.т.н;
Л.С. Скрупська, ст. викл.

Рецензент: В.М.Снігірьов, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: О.В. Близняков, доцент, к.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри ЕА
Протокол № 2 від 13.09.17 р.

Затверджено НМК ЕТФ
Протокол № 2
від 28 вересня 2017 р.

З М І С Т

ВСТУП	4
1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ	5
2. ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	6
3. ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ЗМІННОГО СТРУМУ	9
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	12
ДОДАТОК А.....	13

ВСТУП

Магнітне коло є основним елементом електромагнітних систем, які мають дуже широке розповсюдження в електричних апаратах та деяких інших пристроях. Електромагнітні системи використовуються в електричних апаратах:

- по-перш за все, **як привод**, тобто електромагнітний механізм, що здійснює корисну роботу по переміщенню рухомих частин апарата; головним чином, замикання та розмикання контактів реле, контакторів, магнітних пускачів, вимикачів високої та низької напруги та низки інших апаратів;

- як **вимірювальні елементи** для контролю параметрів електричних кіл в реле струму, напруги, потужності, напрямку потужності та ін., розчеплювачів вимикачів високої та низької напруги; для вимірювання та контролю неелектричних параметрів в індуктивних і трансформаторних датчиках переміщень, швидкостей та прискорень;

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

- як елементи, в яких **відсутній механічний рух**, проте відбуваються дуже складні явища, що пов'язані з взаємним впливом параметрів магнітних та електричних кіл електромагнітної системи; до таких систем можна віднести силові та вимірювальні трансформатори, дроселі, електричні реактори, магнітні підсилювачі та ін.

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, поперше, зниження масогабаритних показників, енергії, що споживається, підвищення швидкодії, зниження технологічних витрат на виробництво та ін.

Отже, в процесі вивчення дисципліни по відношенню до електромагнітних систем ставиться задача, в першу чергу, якісного вивчення фізичних явищ, що відбуваються в магнітних колах взагалі, а в роботі зокрема, отримання первісних навичок їх розрахунку, тобто навчитися розрахунковим шляхом визначати основні параметри магніт-

них кіл і електромагнітів в цілому. Це, в свою чергу, повинно сприяти більш досконалому засвоєнню матеріалів спеціальних дисциплін до фаху: моделювання в електричних апаратах, електричні апарати низької напруги, електричні апарати високої напруги, проектування та САПР електричних апаратів, курсового та дипломного проектування.

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Студент отримує індивідуальне завдання, яке видається керівником. Завдання оформлюється на спеціальному бланку, що затверджений навчальним відділом університету, і підписується керівником. Тема роботи може бути типовою, наприклад "Розрахунок електромагніта постійного струму" або "Розрахунок електромагніта змінного струму" або нетиповою за індивідуальною взаємною угодою студента та керівника. Варіанти для типового розрахунку електромагніту, що пропонуються в роботі надано у додатку.

Пояснювальна записка до курсової роботи повинна містити у собі такі елементи:

1. Титульний лист.
2. Зміст пояснювальної записки.
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;
 - закінчення (висновки по роботі);
 - перелік посилань (список літератури, що використовувалася).

Текст пояснювальної записки повинен містити всі необхідні схеми, ескізи, формули з розкриттям значень величин, що входять до неї, пояснення до розрахунків, а також висновки по отриманих результатах. Одноманітні розрахунки повторювати не рекомендується, а їх результати краще оформлювати у вигляді таблиць. Об'єм пояснювальної записки не повинен перевищувати 30-35 сторінок рукописного тексту. Пояснювальна записка повинна бути оформлена у відповідності до вимог СТП15-96.

2. ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Розрахунок електромагніта постійного струму здійснюється у такій послідовності:

1. За заданими розмірами магнітної системи для початкового значення робочого повітряного зазору $\delta_{п}$ 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 керівником роботи;

б) виконати розрахунок магнітних провідностей робочого повітряного зазору Λ_{δ} , неробочих повітряних зазорів $\Lambda_{ні}$, 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 таблиць.

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

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

за якою визначити її параметри та 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 густини струму $j_{\text{доп}}$, яка для даного випадку може бути прийнята в межах $2-4 \text{ А/мм}^2$

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

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

$\nu_{\text{доп}}$ - 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 на персональному комп'ютері, використовуючи наприклад пакет MathCad, або самостійно скласти програму, застосовуючи один з чисельних методів (метод половинного ділення, простої ітерації і т.п.).

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 електромагніта.

3. ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА ЗМІННОГО СТРУМУ

Розрахунок електромагніта змінного струму здійснюється у такій послідовності:

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 керівником;

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

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

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

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

г) за заданим значенням індукції в сталі магнітопровода (див. табл. А.2) по кривій намагнічування 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 [12];

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) 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. А.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 ярк 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 δ_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

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

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

г) розрахувати середнє значення амплітуди магнітного потоку по висоті осердя

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

д) користуючись середнім значенням коефіцієнту розсіяння, визначити магнітний потік у робочому повітряному зазорі;

е) розрахувати електромагнітну силу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Таев И.С. Электрические аппараты: Общая теория. - М.: Энергия, 1977. - 272 с.
2. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. для вузов/ Под ред. И.С. Таева.- М.: Высшая школа, 1987.- 496 с.
3. Новиков Ю.Н. Теория и расчет электрических аппаратов. - Л.: Энергия, 1970. - 328 с.
4. Теория электрических аппаратов/ Г.Н Александров, В.В. Борисов, В.Л. Иванов и др.; п/ред. проф. Г.Н. Александрова. - М.: Высшая школа, 1985. - 354 с.
5. Буткевич Г.В., Дегтярь В.Г., Сливинская А.Г. Задачник по электрическим аппаратам. - М.: Высшая школа, 1987. - 232 с.
6. Буль Б.К., Буткевич Г.В., Годжелло А.Г. и др. Основы теории электрических аппаратов/ Под ред. Г.В. Буткевича. - М.: Высшая школа, 1970.- 600 с.
7. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Электромагниты постоянного тока. - М.-Л.: ГЭИ, 1969. - 370 с.
8. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Электромагниты переменного тока. - М.: Энергия, 1968. - 138 с.
9. Любчик М.А. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов. - М.: Энергия, 1974. - 392 с.
10. Никитенко А.Г., Гринченков В.П., Иванченко А.Н. Программирование и применение ЭВМ в расчетах электрических аппаратов. - М.: Высшая школа, 1990.- 231 с.
11. Никитенко А.Г. Оптимальное проектирование электромагнитных механизмов. - М: Энергия, 1974. - 136 с.

Додаток А

Вихідні дані до типового розрахунку електромагніту

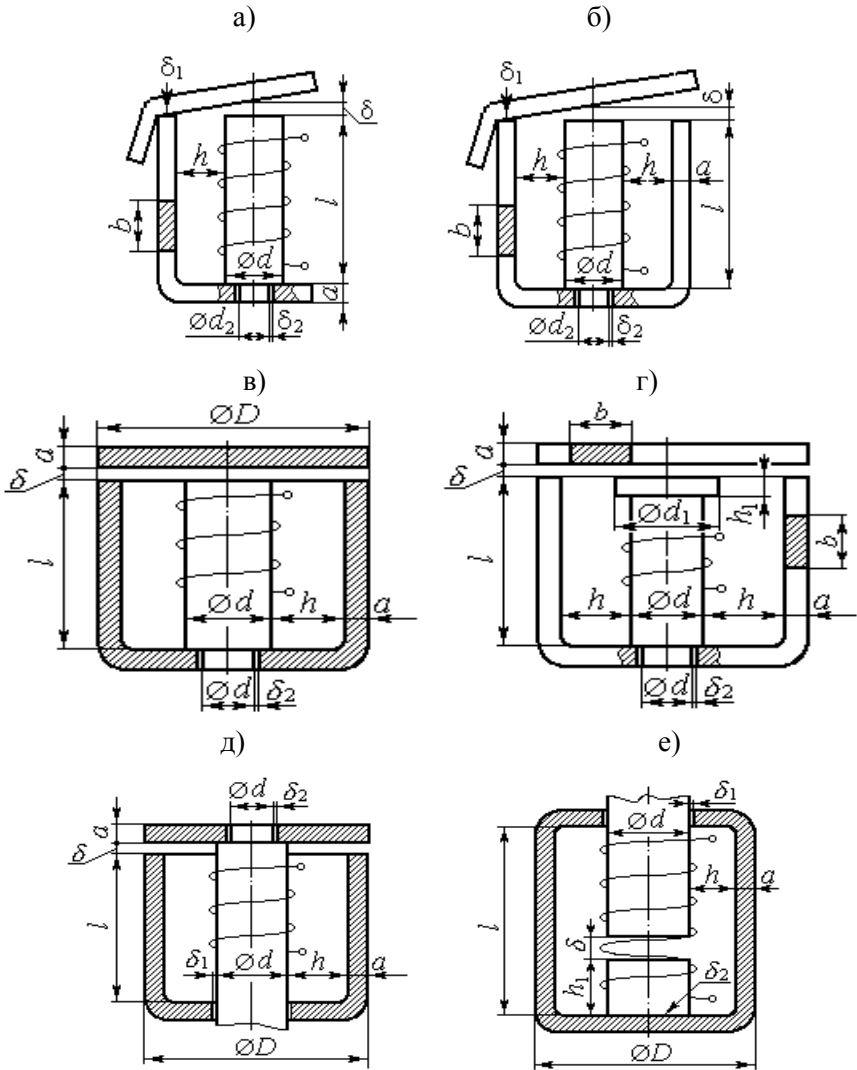


Рисунок А.1 – Варіанти електромагнітів постійного струму

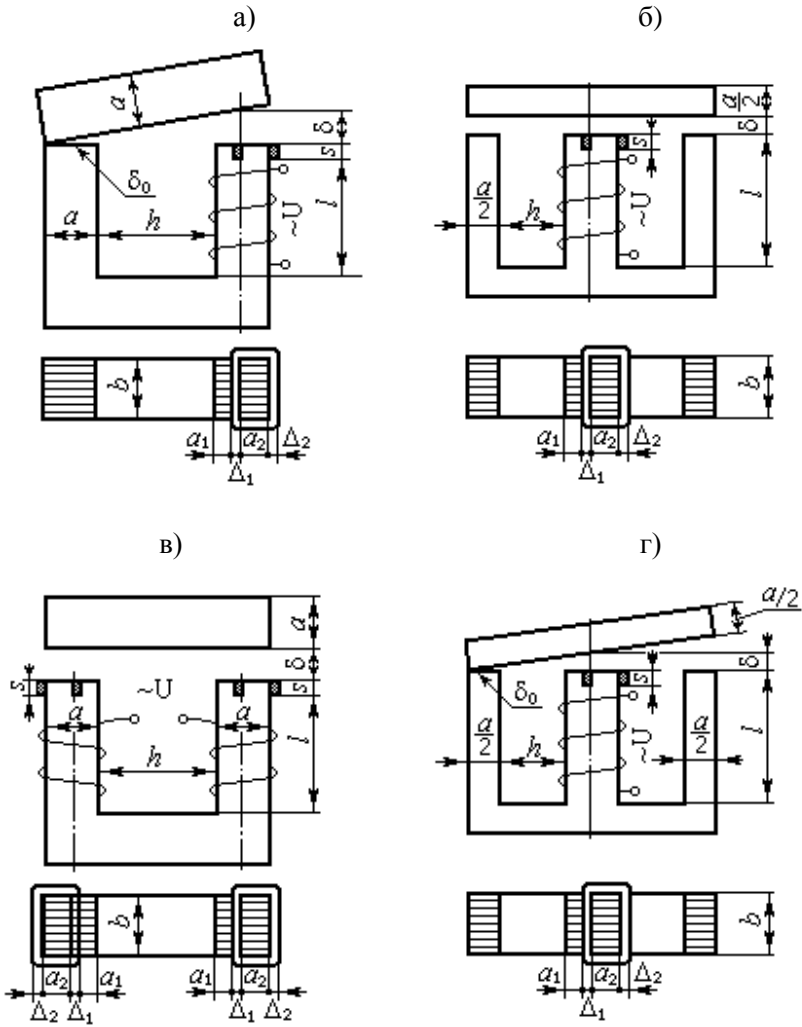


Рисунок А.2 – Варіанти електромагнітів змінного струму

Таблиця А.1 - Вихідні дані до розрахунку електромагніта постійного струму

№№ вар.	Магн. коло	Геометричні розміри, мм										Робочий зазор, мм		Магн. інд-ція $\delta = \delta_{\text{п}}, \text{T}$	Матеріал магн-да	Напруга живл. обм., В
		a	b	l	h	h_1	d	d_1	d_2	δ_1	δ_2	$\delta_{\text{п}}$	$\delta_{\text{к}}$			
1	рис. А.1а	2	15	18	10		5		3		0,05	2	0,15	0,1	Сталь конструкційна марки 10	24
2		3	20	30	15		8		5		0,1	3	0,1	0,15		36
3		4	25	40	18		10		8		0,1	4	0,15	0,05		48
4		5	30	50	20		14		10		0,08	5	0,22	0,12		110
5		6	35	60	25		15		12		0,12	6	0,12	0,08		220
6		8	40	75	30		18		15		0,06	7	0,18	0,2		110
7		10	50	90	35		22		18		0,1	8	0,15	0,15		48
8		10	60	100	40		25		20		0,15	10	0,2	0,1		36
9		8	70	80	40		24		20		0,08	8	0,15	0,06		24
10	рис. А.1б	2	15	36	20		5		3		0,05	2	0,15	0,1	Сталь конструкційна марки 20	24
11		3	20	60	30		8		5		0,1	3	0,1	0,15		36
12		4	25	80	36		10		8		0,1	4	0,15	0,05		48
13		5	30	100	40		14		10		0,08	5	0,22	0,12		110
14		6	35	120	50		15		12		0,12	6	0,12	0,08		220
15		8	40	150	60		18		15		0,06	7	0,18	0,2		110
16		10	50	180	70		22		18		0,1	8	0,15	0,15		48
17		8	70	190	80		25		20		0,15	10	0,2	0,1		36
18		8	80	200	90		24		20		0,08	8	0,15	0,06		24
19	рис. А.1в	2		36	20		5		3		0,05	2	0,15	0,1	Сталь марки 50НХС	24
20		3		60	30		8		5		0,08	3	0,1	0,15		36
21		4		80	36		10		8		0,1	4	0,15	0,05		48
22		5		100	40		14		10		0,12	5	0,22	0,12		110
23		6		120	50		15		12		0,18	6	0,12	0,08		220
24		8		150	60		18		15		0,2	7	0,18	0,2		110
25		8		200	70		22		18		0,22	8	0,15	0,15		48
26		10		250	80		25		20		0,25	10	0,2	0,1		36
27		10		300	90		24		20		0,28	12	0,15	0,06		24

Продовження табл. А.1

№№ вар.	Магн. коло	Геометричні розміри, мм										Робочий зазор, мм		Магн. інд-ція $\delta = \delta_{\text{п}}, \Gamma$	Матері- ал магн-да	Напруга живл. обм., В
		a	b	l	h	h_1	d	d_1	d_2	δ_1	δ_2	$\delta_{\text{п}}$	$\delta_{\text{к}}$			
28	рис. А.1г	2	15	36	20	5	5	10	3		0,05	2	0,05	0,1	Сталь марки 49КФ	24
29		3	20	60	30	6	8	15	5		0,08	3	0,08	0,15		36
30		4	25	80	36	7	10	20	8		0,1	4	0,1	0,05		48
31		5	30	100	40	8	14	25	10		0,1	5	0,12	0,12		110
32		6	40	120	50	9	15	30	12		0,12	6	0,15	0,08		220
33		8	50	150	60	10	18	35	15		0,16	7	0,18	0,2		110
34		10	60	200	70	10	22	40	18		0,18	8	0,2	0,15		48
35		11	80	250	80	12	25	45	20		0,2	10	0,22	0,1		36
36		12	90	350	90	12	28	50	20		0,25	12	0,25	0,06		24
37	рис. А.1д	2		36	10		10		3		0,05	2	0,15	0,1	Сталь конструкційна марки 20	24
38		3		60	15		15		5		0,1	3	0,1	0,15		36
39		4		80	18		20		8		0,12	4	0,15	0,05		48
40		5		100	20		25		10		0,15	5	0,22	0,12		110
41		6		120	25		30		12		0,18	6	0,12	0,08		220
42		8		150	30		35		15		0,2	7	0,18	0,2		110
43		10		180	40		40		18		0,22	8	0,15	0,15		48
44		8		190	50		45		20		0,25	10	0,2	0,1		36
45		8		200	60		50		22		0,28	12	0,25	0,06		24
46	рис. А.1е	2		36	20		5		3		0,05	2	0,15	0,1	Сталь конструкційна марки 10	24
47		3		60	30		8		5		0,08	3	0,1	0,15		36
48		4		80	36		10		8		0,1	4	0,15	0,05		48
49		5		100	40		14		10		0,12	5	0,22	0,12		110
50		6		120	50		15		12		0,18	6	0,12	0,08		220
51		8		150	60		18		15		0,2	7	0,18	0,2		110
52		8		200	70		22		18		0,22	8	0,15	0,15		48
53		10		250	80		25		20		0,25	10	0,2	0,1		36
54		10		300	90		24		20		0,28	12	0,15	0,06		24

Таблиця А.2 - Вихідні дані до розрахунку електромагніта змінного струму

№№ вар.	Магн. коло	Геометричні розміри, мм									Робочий зазор, мм		B_m ($\delta=\delta_k$), Т	Матеріал магн-да	Напр. живл. обм., В
		a	b	l	h	a_1	a_2	Δ_1	Δ_2	s	$\delta_{п}$	δ_k			
55	рис. А.2а	14	22	55	22	4	8	2	3	3	5	0,05	0,8	Сталь електротехнічна марки 1212	127
56		11	18	50	20	3	6	2	2	2	4		0,85		220
57		15	25	65	25	4	8	3	4	4	6		0,75		380
58		15	25	70	25	4	8	3	4	4	6		0,9		660
59		16	28	75	25	5	9	2	3	3	7		0,9		220
60		16	30	80	30	4	9	3	4	4	7		1,0		127
61		18	32	90	30	5	10	3	4	4	8		1,0		380
62		18	35	95	32	6	10	2	3	3	8		1,1		660
63		20	40	100	35	6	12	2	3	3	8		1,2		220
64		11	20	70	22	3	6	2	3	3	2		0,8		127
65		13	25	65	20	3	7	3	2	2	3		0,85		220
66		14	28	75	25	4	8	2	4	4	4		0,75		380
67	17	30	90	30	5	9	3	3	4	5	0,8	660			
68	рис. А.2б	16	35	80	25	5	9	2	3	3	5	0,05	1,0	Сталь електротехнічна марки 1511	127
69		18	35	80	25	5	10	3	4	4	6		1,0		220
70		19	40	90	30	5	11	3	4	4	7		1,1		380
71		20	40	95	30	6	12	2	4	4	8		1,2		660
72		20	40	100	32	6	12	2	3	3	10		0,8		220
73		22	45	100	35	6	131	3	3	3	12		0,85		127
74		18	20	36	20	5	1	2	3	3	2		0,75		220
75		25	30	60	30	8	15	2	2	2	3		0,9		380
76		32	35	80	36	10	19	3	4	4	4		0,9		660
77		45	50	100	40	14	28	3	4	4	5		1,0		220
79		48	50	120	50	16	30	2	3	3	6		1,0		127
80		55	60	150	60	18	35	3	4	4	7		1,1		380
81		65	70	200	70	22	40	3	4	4	8		1,2		660

Продовження табл. А.2

№№ вар.	Магн. коло	Геометричні розміри, мм									Робочий зазор,мм		B_m ($\delta=\delta_k$), Т	Матеріал магн-да	Напру- га живл. обм., В
		a	b	l	h	a_1	a_2	Δ_1	Δ_2	s	$\delta_{п}$	δ_k			
82	рис. А.2в	14	22	55	22	4	8	2	3	3	5	0,05	0,8	Сталь електротехнічна марки 1212	127
83		11	18	50	20	3	6	2	2	2	4		0,85		220
84		15	25	65	25	4	8	3	4	4	6		0,75		380
85		15	25	70	25	4	8	3	4	4	6		0,9		660
86		16	28	75	25	5	9	2	3	3	7		0,9		220
87		16	30	80	30	4	9	3	4	4	7		1,0		127
88		18	32	90	30	5	10	3	4	4	8		1,0		380
89		18	35	95	32	6	10	2	3	3	8		1,1		660
90		20	40	100	35	6	12	2	3	3	8		1,2		220
91		11	20	70	22	3	6	2	3	3	2		0,8		127
92		13	25	65	20	3	7	3	2	2	3		0,85		220
93		14	28	75	25	4	8	2	4	4	4		0,75		380
94		17	30	90	30	5	9	3	3	4	5		0,8		660
95		рис. А.2г	16	35	80	25	5	9	2	3	3		5		0,05
96	18		35	80	25	5	10	3	4	4	6	1,0	220		
97	19		40	90	30	5	11	3	4	4	7	1,1	380		
98	20		40	95	30	6	12	2	4	4	8	1,2	660		
99	20		40	100	32	6	12	2	3	3	10	0,8	220		
100	22		45	100	35	6	131	3	3	3	12	0,85	127		
101	18		20	36	20	5	1	2	3	3	2	0,75	220		
102	25		30	60	30	8	15	2	2	2	3	0,9	380		
103	32		35	80	36	10	19	3	4	4	4	0,9	660		
104	45		50	100	40	14	28	3	4	4	5	1,0	220		
105	48		50	120	50	16	30	2	3	3	6	1,0	127		
106	55		60	150	60	18	35	3	4	4	7	1,1	380		
107	65		70	200	70	22	40	3	4	4	8	1,2	660		

