

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет “Запорізька політехніка”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з вивчення дисципліни та виконання контрольних завдань
дисципліни «Електричні апарати» для освітньої програми
«Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» заочної форми навчання

Частина 2

2020

Методичні вказівки з вивчення дисципліни та виконання контрольних завдань дисципліни «Електричні апарати» для освітньої програми «Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв». спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» заочної форми навчання Частина 2 / Укл.: М.В. Антонова. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка”, 2020. – 31 с.

Укладач: М.В. Антонова

Рецензент: О.В. Близняков, доцент, канд.техн.наук

Відповідальний
за випуск: Р.Е. Мохнач

Затверджено
на засіданні кафедри “Електричні та
електронні апарати”
Протокол № 2
від «28» вересня 2020 р.

Рекомендовано до видання
НМК Електротехнічного факультету
Протокол № 2
від «22» жовтня 2020 р.

ЗМІСТ

1 Загальні методичні вказівки	5
2 Робоча програма і методичні вказівки щодо вивчення тем дисципліни	
Змістовий модуль 3. Електричні апарати керування низької напруги 6	
Тема 8. Особливості процесів комутації струму при низькій напрузі ..6	
Тема 9. Апарати керування режимом роботи електрообладнання	6
Тема 10. Зносостійки комутаційні апарати керування.....	7
Тема 11. Електромагнітні реле керування.....	7
Змістовий модуль 4. Електричні апарати розподільних пристроїв низької напруги	8
Тема 12. Захист від аварійних режимів	8
Тема 13. Автоматичні вимикачі	9
Тема 14. Високочастотні апарати.....	9
Тема 15. Плавкі запобіжники	10
3 Перелік лабораторних робіт	12
4 Контрольні завдання	14
4.1 Загальні вказівки.....	13
4.2 Завдання на контрольну роботу і вибір варіанту.....	13
4.3 Перелік теоретичних запитань	15
4.4 Методичні вказівки до виконання контрольної роботи.....	17
Додаток А Приклад оформлення титульного аркушу контрольної роботи	22
Додаток Б Методика розрахунку електромагнітна постійного струму	23
Додаток В Методика розрахунку електромагніту змінного струму	28

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Відповідно навчального плану для заочної форми навчання освітньої програми «Електричні машини і апарати» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» дисципліна «Електричні апарати» складається з лекцій, лабораторних робіт та контрольної роботи. Підсумковою формою контролю є залік.

Мета викладання дисципліни «Електричні апарати» полягає в формуванні у студентів знань, навиків та умінь, що дозволять їм здійснювати розрахунок, вибір та експлуатацію електричних (в тому числі електромеханічних) апаратів та використовувати їх для створення більш сучасних та досконаліх електротехнічних засобів.

Завдання дисципліни «Електричні апарати» полягає в засвоєнні фундаментальних теоретичних основ різноманітних фізичних явищ, що відбуваються в електричних апаратах і на яких засновано їх функціонування.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен – знати: фізичні процеси, що відбуваються в електричних апаратах та методи їх аналізу; принципи роботи основних елементів електричних апаратів та співвідношення для їх розрахунків; принципи роботи основних груп електричних апаратів, які використовуються в системах електропостачання промислових підприємств при автоматизації виробничих процесів та електропривода; основні напрями застосування електричних апаратів, їх вибору та експлуатації; особливості застосування електричних апаратів.

– вміти: здійснювати дослідження та розрахунки основних елементів електричних апаратів; здійснювати грамотний і обґрунтований вибір електричних апаратів для електричних систем та їх експлуатацію; здійснювати налаштування електричних апаратів, встановлення та регулювання їх уставок; набути навички інженерної діяльності, а саме: розпізнавати, аналізувати і описувати конкретні апарати на функціональному, конструктивному та структурному рівнях, визначати принцип дії, перелік вимог та критеріїв оцінки.

На установочну сесію виносяться 7 тем, які у сконцентрованому вигляді відповідають на усі питання, пов'язані з вивченням дисципліни:

– вступ до дисципліни;

- електричні реле;
- автоматичні повітряні вимикачі (автомати);
- запобіжники;
- безконтактні та бездугові електричні апарати.

На установочну сесію виносяться одна лабораторна робота: поляризовані реле, яка наочно дозволить вивчити принцип дії, конструкцію та способи настроювання поляризованих реле, а також експериментально визначити їх основні параметри й навчати практично здійснювати їх настроювання.

Подробиці всіх тем вивчаються самотужки, що і застерігається в методичних вказівках. До самостійної роботи мають також відношення:

- захист лабораторної роботи;
- виконання контрольної роботи;
- підготовка до заліку.

Установочні лекції є тільки каркасом повного масиву знань з дисципліни «Електричні апарати». Подробиці теоретичних знань поповнюються та закріплюються за допомогою лабораторних робіт, а контрольна робота виконується за допомогою рекомендованої літератури.

На залік виносяться, головним чином, теоретичні питання.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ

МОДУЛЬ 2

Змістовий модуль 3. Електричні апарати керування низької напруги

Тема 8. Особливості процесів комутації струму при низькій напрузі

Під час проведення установочної сесії вивчення теми займає 1 годин і 27 годин необхідно для самостійного вивчення матеріалу в повному обсязі.

Зміст робочої програми теми. Призначення комутаційних апаратів. Головні комутуючі контакти. Допоміжні контакти.

Методичні вказівки щодо вивчення теми

Під час вивчення даної теми особливу увагу треба звернути на поняття про електричний апарат, технічні параметри електричних апаратів, захисні оболонки електричних апаратів, кліматичне виконання та категорію розміщення, вимоги до електричних апаратів, а також їх позначення.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке комутація?
2. З чого складається процес гашення дуги?
3. Яким чином виникає задування дуги?

Тема 9. Апарати керування режимом роботи електрообладнання

Під час проведення установочної сесії вивчення теми займає 1 годин і 26 годин необхідно для самостійного вивчення матеріалу в повному обсязі.

Зміст робочої програми теми. Апарати керування режимом роботи електрообладнання. Режими роботи електрообладнання в залежності від умов роботи промисловості.

Методичні вказівки щодо вивчення теми

Під час вивчення даної теми особливу увагу треба звернути на поняття режими роботи, технічні параметри електричних апаратів, захисні оболонки електричних апаратів, кліматичне виконання та категорію розміщення, вимоги до електричних апаратів, а також їх позначення.

Запитання для самоперевірки

1. Які є режими роботи електрообладнання?
2. На які параметри звертають увагу при виборі апаратів керування?
3. Яким чином впливають умови розміщення апаратів керування на їх особливості конструкції?

Тема 10. Зносостійки комутаційні апарати керування

Під час проведення установочної сесії вивчення теми займає 1 годин і 25 годин необхідно для самостійного вивчення матеріалу в повному обсязі.

Зміст робочої програми теми. Залежність зносостійкості електричного устаткування від режимів роботи, від умов розташування та матеріального виконання апарату.

Методичні вказівки щодо вивчення теми

Під час вивчення даної теми особливу увагу треба звернути на поняття про електричний апарат, технічні параметри електричних апаратів, захисні оболонки електричних апаратів, кліматичне виконання та категорію розміщення, вимоги до електричних апаратів.

Запитання для самоперевірки

1. Від чого залежить комутаційна зносостійкість?
2. Яким чином перевантаження впливає на зносостійкість апарату?
- 3.

Тема 11. Електромагнітні реле керування

Під час проведення установочної сесії вивчення теми займає 1 годин і 24 годин необхідно для самостійного вивчення матеріалу в повному обсязі.

Зміст робочої програми теми. Принципи роботи електромагнітних реле. Параметри спрацювання. Особливості роботи електромагнітних та магнітоелектричних реле керування.

Методичні вказівки щодо вивчення теми

Під час вивчення даної теми особливу увагу треба звернути на поняття про електричний апарат, технічні параметри електричних апаратів, захисні оболонки електричних апаратів, кліматичне виконання та категорію розміщення, вимоги до електричних апаратів. Принцип побудови електромагнітних реле та магнітоелектричних реле.

Запитання для самоперевірки

1. В чому полягає різниця між електромагнітними та магнітоелектричними апаратами?
2. На які параметри орієнтовані реле керування?
3. Перерахуйте всі відомі реле та їх основні параметри.

Рекомендована література [1, 4, 5,].

Змістовий модуль 4. Електричні апарати розподільних пристроїв низької напруги

Тема 12. Захист від аварійних режимів

Під час проведення установочної сесії вивчення теми займає 1 годин і 26 годин необхідно для самостійного вивчення матеріалу в повному обсязі.

Зміст робочої програми теми. Нестационарні ситуації, що виникають під час роботи та аварійних режимів на виробництві. Елементи захисту та параметри на які розрахований захист.

Методичні вказівки щодо вивчення теми

Під час вивчення даної теми особливу увагу треба звернути на поняття теплове реле, плавкий запобіжник та автоматичний вимикач, технічні параметри електричних апаратів, захисні оболонки електричних апаратів, кліматичне виконання та категорію розміщення, вимоги до електричних апаратів.

Запитання для самоперевірки

1. Від чого залежить комутаційна зносостійкість?
2. Яким чином перевантаження впливає на зносостійкість апарату?

Тема 13. Автоматичні вимикачі

Під час проведення установочної сесії вивчення теми займає 1 годин і 25 годин необхідно для самостійного вивчення матеріалу в повному обсязі.

Зміст робочої програми теми. Залежність зносостійкості електричного устаткування від режимів роботи, від умов розташування та матеріального виконання апарату.

Методичні вказівки щодо вивчення теми

Під час вивчення даної теми особливу увагу треба звернути на поняття про автоматичний вимикач, технічні параметри, захисні оболонки, система дугогасіння, кліматичне виконання та категорію розміщення, вимоги до автоматичних вимикачів.

Запитання для самоперевірки

1. Від чого залежить комутаційна зносостійкість?
2. Яким чином перевантаження впливає на зносостійкість апарату?

Тема 14. Високочастотні апарати

Під час проведення установочної сесії вивчення теми займає 1 годин і 25 годин необхідно для самостійного вивчення матеріалу в повному обсязі.

Зміст робочої програми теми. Залежність зносостійкості електричного устаткування від режимів роботи, від умов розташування та матеріального виконання апарату.

Методичні вказівки щодо вивчення теми

Під час вивчення даної теми особливу увагу треба звернути на поняття про електричний апарат, технічні параметри електричних апаратів, захисні оболонки електричних апаратів, кліматичне виконання та категорію розміщення, вимоги до електричних апаратів.

Запитання для самоперевірки

1. Від чого залежить комутаційна зносостійкість?

2. Яким чином перевантаження впливає на зносостійкість апарату?

Тема 15. Плавкі запобіжники

Під час проведення установочної сесії вивчення теми займає 1 годин і 25 годин необхідно для самостійного вивчення матеріалу в повному обсязі.

Зміст робочої програми теми. Залежність зносостійкості електричного устаткування від режимів роботи, від умов розташування та матеріального виконання апарату.

Методичні вказівки щодо вивчення теми

Під час вивчення даної теми особливу увагу треба звернути на поняття про плавкого запобіжника, технічні параметри плавких вставок, захисні оболонки, кліматичне виконання та категорію розміщення, вимоги до плавких запобіжників.

Запитання для самоперевірки

1. Від чого залежить комутаційна зносостійкість?
2. Яким чином перевантаження впливає на зносостійкість апарату?

Рекомендована література [1, 4, 5, 22, 30, 31, 32].

3 ПЕРЕЛІК ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота №6. Електромагнітні реле керування № 10, 12, 17 – 1 години.

Лабораторна робота №7. Апарати керування режимом роботи електрообладнання № 13, 14, 16, 18 – 1 години.

Лабораторна робота №8 Зносостійки комутаційні апарати керування № 16 – 2 години.

Лабораторна робота №9. Плавкі запобіжники № 11– 1 години.

Лабораторна робота №10. Автоматичні вимикачі № 14 – 1 години [33] 2 години.

Лабораторна робота №11. Захист від аварійних режимів № 19– 1 години.

Лабораторна робота №12. Процеси комутації електричних кіл № 20– 1 години.

Лабораторні роботи виконуються за методичними вказівками

Для забезпечення самостійного вивчення студентами лабораторних робіт під час виконання, необхідна належна їх організація. Лабораторне заняття, як правило починається з опитування студентів з метою виявлення їх підготовки. Студенти, які виявили недостатню підготовку й знання до лабораторних робіт не допускаються.

До виконання лабораторної роботи необхідно:

– знати відповідний теоретичний та розрахунковий матеріал, мету роботи та методику її проведення;

– знати будову лабораторного станду, вивчити обладнання та прилади, які використовуються.

В процесі виконання роботи студенту необхідно:

– точно виконувати вимоги техніки безпеки та правила експлуатації лабораторного станду, обладнання та приладів, що використовуються;

– виконувати роботи у відповідності з методикою та методичними вказівками;

– уважно проводити необхідні виміри та запис результатів;

– аналізувати та критично оцінювати отримані результати.

Оформлення роботи та захист здійснювати в той же час, який дається для виконання даної роботи або під час консультацій.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

4.1 Загальні вказівки

З дисципліни «Електричні апарати» кожен студент заочної форми навчання виконує одну контрольну роботу у відповідності до розділів теоретичного курсу. Контрольна робота виконується з метою закріплення теоретичних знань, одержаних внаслідок вивчення дисципліни. На виконання контрольної роботи витрачається біля 8 годин.

4.2 Завдання на контрольну роботу і вибір варіанту

Кожна контрольна робота складається з двох теоретичних запитань та двох задач.

Вихідні дані до теоретичних запитань наведені у таблиці 4.1. Номери запитань вибираються за двома складовими: горизонтальними рядками таблиці за останньою цифрою залікової книжки та стовпчиками, які відповідають поточному навчальному року. Наприклад, якщо остання цифра залікової книжки дорівнює «5», а поточним навчальним роком є 2018/2019 н.р., тоді слід обрати теоретичні запитання №13 та №25.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до теоретичних запитань

Остання цифра залікової книжки	Поточний навчальний рік			
	2020/2021	2021/2022	2021/2022	2022/2023
1	17, 29	10, 35	20, 26	7, 37
2	9, 38	16, 25	6, 34	19, 28
3	18, 24	5, 37	15, 27	8, 33
4	4, 32	17, 26	7, 36	14, 23
5	13, 25	6, 31	16, 22	3, 35
6	5, 34	12, 21	2, 30	15, 24
7	14, 20	1, 33	11, 23	4, 29
8	12, 40	13, 22	3, 32	10, 39
9	21,40	2, 19	9, 38	28, 31
0	1, 26	8, 30	18, 27	11, 39

Перша задача має на меті розрахунок електромагніту постійного струму. Необхідно розрахувати обмотку напруги електромагніту постійного струму за вихідними даними, наведеними у таблиці 4.2 та таблиці 4.3. Як зміняться обмоткові дані електромагніту, якщо напруга джерела живлення замість U_1 стане дорівнювати U_2 . Режим роботи – тривалий. Питомий електричний опір провідника прийняти рівним $\rho = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{ м} (105^\circ\text{C})$.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані до першої задачі

Остання цифра залікової книжки	D_k	d_k	l_k	Δ_k	F
	$10^{-3}, \text{ м}$	$10^{-3}, \text{ м}$	$10^{-3}, \text{ м}$	$10^{-3}, \text{ м}$	А
1	54	18	72	2	1600
2	80	24	108	2	2000
3	94	31	142	2,5	3000
4	103	41	160	3	4200
5	60	12	46	2	1400
6	64	22	88	2	1700
7	84	25	110	2,5	2100
8	70	27	99	2,5	1300
9	58	16	92	2	1800
0	88	26	126	2,5	2500

Таблиця 4.3 – Вихідні дані до першої задачі

Напруга джерела живлення	Поточний навчальний рік			
	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022
$U_1, \text{ В}$	440	220	110	60
$U_2, \text{ В}$	48	24	12	6

Друга задача має на меті розрахунок електромагніту змінного струму. Необхідно розрахувати обмотку напруги електромагніту змінного струму за вихідними даними, наведеними у таблиці 4.4 та таблиці 4.5. Як зміняться обмоткові дані електромагніту, якщо напруга джерела живлення замість U_1 стане дорівнювати U_2 . Режим роботи – тривалий. Питомий електричний опір провідника прийняти рівним $\rho = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{ м} (105^\circ\text{C})$.

Таблиця 4.4 – Вихідні дані до другої задачі

Остання цифра залікової книжки	A_k	a_k	B_k	b_k	l_k	Δ_k	F_m	Φ_m
	10^{-3} , м	10^{-3} , м	10^{-3} , м	10^{-3} , м	10^{-3} , м	10^{-3} , м	А	10^{-4} , Вб
1	23	18	45	30	32	2,0	560	3,4
2	14	14	35	35	28	1,5	500	2,1
3	29	29	65	65	35	3,0	610	7,1
4	48	39	98	90	35	3,0	640	11,1
5	42	33	88	76	35	2,5	620	8,3
6	40	24	80	60	35	2,5	630	6,2
7	26	24	55	51	25	2,0	470	4,5
8	21	17	47	45	35	2,0	480	3,8
9	18	12	39	31	32	1,5	610	2,3
0	13	13	31	31	24	1,5	410	1,8

Таблиця 4.5 – Вихідні дані до другої задачі

Напруга джерела живлення	Поточний навчальний рік			
	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022
U_1 , В	127	220	380	500
U_2 , В	12	24	36	48

При розв'язанні задач слід враховувати наступне. Обмотка електромагніту повинна бути розрахована таким чином, щоб з одного боку забезпечити необхідну магніторушійних силу (МРС), а з іншого, – щоб її максимальна температура не перевищувала допустимої для використовуваного класу ізоляції.

4.3 Перелік теоретичних запитань

1. Дайте визначення електричного апарата.
2. За якими ознаками можна класифікувати електричні апарати.
3. Назвіть основні вимоги до електричних апаратів.
4. Дайте поняття електродинамічної стійкості електричних апаратів.
5. Назвіть основні джерела теплоти в електричних апаратах.

6. Перелічіть міри боротьби з нагріванням феромагнітних неструмопровідних частин, що знаходяться в змінному магнітному полі.

7. Яке явище називають явищем поверхневого ефекту.

8. Назвіть відомі Вам способи передачі тепла усередині нагрітих тіл і з їхньої поверхні.

9. Дайте поняття термічної стійкості електричних апаратів.

10. Які види контактів Ви знаєте.

11. Які міри боротьби з електричною ерозією Ви знаєте.

12. Назвіть основні властивості дугового розряду.

13. На які області можна розділити дуговий розряд. Дайте їм коротку характеристику.

14. Що таке статична і динамічна вольт-амперні характеристики дуги.

15. Які способи впливу на електричну дугу відключення Вам відомі?

16. Відобразіть статичну тягову характеристику електромагніта постійного струму.

17. Дайте визначення коефіцієнта повернення електромагнітного механізму.

18. Покажіть динамічну залежність струму у функції часу в електромагнітах постійного струму.

19. Які засоби для прискорення й уповільнення спрацювання електромагнітів постійного струму Ви знаєте?

20. Які шляхи існують для зниження пульсації електромагнітної сили в електромагнітах змінного струму?

21. Дайте визначення контактора, коротко охарактеризуйте його пристрій і основні параметри.

22. Які електричні апарати називають магнітними пускачами?

23. Вибір контакторів і магнітних пускачів.

24. За якими ознаками класифікують реле? Вимоги, пропонувані до реле.

25. Назвіть умови включення і вимикання електромагнітних реле.

26. Відобразіть часострумову характеристику теплового реле і назвіть умови її узгодження з характеристикою об'єкта.

27. Термісторний і позисторний захист електродвигунів.

28. Герконові реле. Переваги і недоліки герконів.

29. Поляризовані реле. Область застосування і переваги.

30. Як можна розділити реле часу за принципом створення витримки часу? Сформулюйте загальні вимоги до реле часу.

31. Вибір реле.

32. Сформулюйте призначення автоматів і вимоги, пропонувані до них.

33. З яких основних вузлів складається автоматичний вимикач?

34. Вибір автоматів.

35. Дайте визначення запобіжника і сформулюйте вимоги до них.

36. Як правильно вибрати запобіжник для легких і тяжких умов пуску електричних двигунів і для селективної роботи в схемі електропостачання?

37. Назвіть та дайте визначення основних параметрів високовольтних вимикачів.

38. Дайте класифікацію і коротку характеристику високовольтних вимикачів за принципом, який закладено в конструкцію дугогасильного пристрою.

39. Призначення, принцип дії та особливості конструкції роз'єднувачів, відокремлювачів і короткозамикачів.

40. Сформулюйте вимоги до розрядників, зобразіть їх захисні характеристики, перерахуйте елементи конструкції.

4.4 Методичні вказівки до виконання контрольної роботи

При виконанні контрольної роботи слід керуватись діючим державним стандартом України з виконання текстових документів ДСТУ 3008:2015 [34], при розрахунках застосовувати Міжнародну систему одиниць СІ. Контрольну роботу слід оформлювати на одному боці аркуша формату А4 (297x210 мм) або оформлювати в учнівському зошиті. Текст писати від руки чітким почерком чорнилом (пастою) чорного, синього, фіолетового кольорів або машинним способом з використанням комп'ютерної техніки. Виклад вести в одній часовій формі й в одному дієслівному способі.

Відповіді на теоретичні запитання контрольної роботи давати достатньо повними, у відповідності до програми курсу, наведеної у другому розділі. Відповіді обов'язково доповнювати схемами, рисунками, таблицями, розрахунками тощо. Рисунки виконувати у

відповідності до вимог ЄСКД (єдиної системи конструкторської документації).

Приклад титульної сторінки контрольної роботи наведений у додатку А. На наступній сторінці контрольної роботи записується у відповідності до № залікової книжки та поточного навчального року відповідні теоретичні запитання та вихідні дані до двох задач. Кожне теоретичне запитання та задача починаються з нової сторінки. У вигляді заголовка до завдання записується суть запитання, а потім іде відповідь. При необхідності відповідь ілюструється схемами чи ескізами. Для нотаток викладача необхідно залишати поля. Після кожної відповіді необхідно залишати місце для зауважень викладача (2-3 рядка).

Методика розрахунку електромагнітна постійного та змінного струму наведені в додатку Б та В відповідно.

Кожна робота завершується переліком використаної літератури. Робота повинна мати підпис студента і подається на кафедру Електричних та електронних апаратів не пізніше, ніж за 10 днів до початку екзаменаційної сесії. Зауваження викладача враховуються студентом під час підготовки до заліку.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛИТЕРАТУРА

Базова

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1988. 720 с.
2. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. для вузов / Под ред. И.С. Таева. М.: Высшая школа. 1987. 496 с.
3. Буткевич Г.В. Дегтярь В.Г., Сливинская А.Т. Задачник по электрическим аппаратам. М.: Высшая школа. 1987. 232 с
4. Таев И.С. Электрические аппараты автоматики и управления. М.: Высшая школа, 1975. 244 с.
5. Таев И.Е. Электрические аппараты управления. М.: Высшая школа, 1984. 244 с.
6. Электромеханические аппараты автоматики Б.К Буль, О.Б. Буль, В.А Азанов, В.Н. Шоффа. М.: Высшая школа, 1988. 303 с.
7. Справочник по расчету и конструированию контактных частей силовых электрических аппаратов / Н.М. Адоньев, В.В. Афанасьев, В.Б. Борисов и др. Под ред. В.В. Афанасьева. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 384 с.
8. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения / Н.М. Адоньев, В.В. Афанасьев, И.М. Бортник и др. Под ред. Афанасьева. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 544 с.
9. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования)- М.: Энергия, 1971. 500 с.
10. Коробков Ю.С., Флора В.Д. Электромеханические аппараты автоматики. М.: Энергоатомиздат, 1991. 344 с.
11. Любчик М.Л. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов. М.: Энергия, 1974. 392 с.
12. Новиков Ю. Н. Теория и расчет электрических аппаратов. Л.: Энергия 1970. 328 с.
13. Теория электрических аппаратов/ Г.Н. Александров, В.В. Борисов, В.Л. Иванов и др.; Под ред. проф. Г.Н. Александрова. М.: Высшая школа, 1985. 354 с.
14. Преображенский А.А., Бишард Е.Т. Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1986. 352 с.
15. Холявский Г.Б. Расчет электродинамических усилий в электрических аппаратах. Л.: Энергия. 1971 156 с.

16. Таев И.С. Электрические контакты и дугогасильные устройства аппаратов низкого напряжения. М.: Энергия, 1973. 424 с.
17. Никитенко А.Г. Автоматизированное проектирование электрических аппаратов. М.: Высшая школа, 1983. 192 с.
18. Залесский А.М., Кукеков Г.А. Тепловые расчеты электрических аппаратов. Л.: Энергия, 1967. 380 с.
19. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Электромагниты постоянного тока. М.Л.: ГЗИ. 1969.
20. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Электромагниты переменного тока. М.: Энергия. 1968. 138 с.
21. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа. 1984. 247 с.
22. Намитокв К.К. Ильина Н.А, Шкловский И.Г. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств. М.: Энергоатомиздат, 1988. 280 с.
23. Базуткин В.В. и др. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах / В.В. Базуткин. В.Л. Ларионов, Ю.С. Пинталь. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 464 с.

Допоміжна

24. Харазов К.И. Устройства автоматики с магнитоуправляемыми контактами. М.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
25. Брон О.Б. Сушков Л.К. Потоки плазмы в электрической дуге выключающих аппаратов. Л.: Энергия. 1975. 212 с.
26. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. М.: Энергия, 1973. 263 с.
27. Ройзен В.З. Электромагнитные малогабаритные реле. Л. Энергоатомиздат, 1986. 252 с.
28. Беляев В.Л. Особенности работы и конструкций много амперных электрических аппаратов: Учеб. пособие СПб.: СЗІУ, 2005. 274 с.
29. Алиев И.И., Абрамов М.Б. Электрические аппараты: Справочник М.: Радио Софт, 2004. 256 с.
30. Клименко Б.В. Комутаційна апаратура, апаратура керування, запобіжники. Терміни, тлумачення, коментарі. Навчальний посібник Харків: Талант, 2008. 208 с
31. Намотков К.К. и др. Плавкие предохранители. М: Энергия. 1979.

32. Могилевский Г.В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1986.

33. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Електричні апарати» освітньої програми «Електричні машини і апарати» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» URL: <http://e-library.zntu.edu.ua>

34. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.

Інформаційні ресурси

1. <https://uk.wikipedia.org/>
2. <http://www.electrika.net.ua/>
3. <http://bukvar.su/fizika/62382-Elektricheskie-apparaty.html>

Додаток А

Приклад оформлення титульного аркушу контрольної роботи

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

№ залікової книжки

КОНТРОЛЬНА РОБОТА

з дисципліни «Електричні апарати»

Виконав студент групи Е-218

І.І. Іванов

2020

Додаток Б

Методика розрахунку електромагнітної постійного струму

На рисунку Б.1 показані магнітопровід та котушка електромагніту. Обмотка котушки виконується ізольованим провідником, який намотується на каркас. Котушки можуть бути й безкаркасними. В цьому випадку витки обмотки скріплюються стрічковою або листовою ізоляцією, або заливальним компаундом.

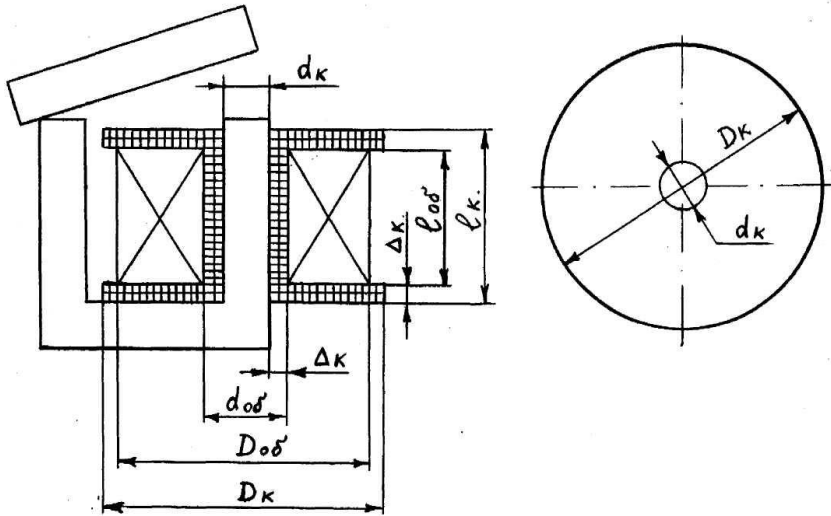


Рисунок Б.1 – Електромагніт постійного струму.

Для розрахунку обмотки напруги повинні бути задані напруга U , магніторушійна сила F й геометричні розміри котушки.

Перетин обмотувального дроту q визначають з необхідної магніторушійної сили:

$$F = \frac{U}{R} \cdot W = \frac{U \cdot q \cdot W}{\rho \cdot l_{cp} \cdot W} = \frac{U \cdot q}{\rho \cdot l_{cp}}, \quad (\text{Б.1})$$

звідки

$$q = F \cdot \rho \cdot l_{cp} / U, \quad (\text{Б.2})$$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника, $Om \cdot m$;

W – число витків обмотки;

l_{cp} – середня довжина витка, м. З рисунку Б.1 видно, що

$$l_{cp} = \frac{\pi(D_{об} + d_{об})}{2}; \quad (Б.3)$$

$D_{об}$ – зовнішній діаметри обмотки, м;

$d_{об}$ – внутрішній діаметри обмотки, м;

R – опір обмотки, Ом;

$$R = \frac{\rho \cdot l_{cp} \cdot W}{q} \quad (Б.4)$$

З (Б.1) видно, що при незмінній середній довжині витка l_{cp} заданому ρ магніторушійна сила визначається добутком $U \cdot q$. Якщо, при постійній напрузі й середній довжині витка потрібно збільшити магніторушійну силу, то необхідно взяти провід більшого перерізу. В цьому випадку обмотка матиме менше число витків й, відповідно, менший опір, а струм в обмотці зросте.

За знайденим перерізом, за допомогою таблиць сортаментів [3, 4] знаходимо найближчий стандартний діаметр проводу.

Число витків обмотки при заданому перетині котушки $Q_{об}$ визначається коефіцієнтом заповнення за міддю f_m :

$$f_m = \frac{W \cdot q}{Q_{об}} \quad (Б.5)$$

де $W \cdot q$ – площа, що займає мідь обмотки, m^2 ;

$Q_{об}$ – переріз обмотки, m^2 . З рисунку Б.1

$$Q_{об} = \frac{D_{об} - d_{об}}{2} \cdot l_{об} \quad (Б.6)$$

де $l_{об}$ – довжина обмотки, м;

Число витків обмотки

$$W = \frac{f_m \cdot Q_{об}}{q} \quad (\text{Б.7})$$

Потужність, що виділяється в обмотці у вигляді тепла

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (\text{Б.8})$$

З урахуванням виразів (Б.1), (Б.4), (Б.5) потужність, споживану обмоткою, можна розрахувати інакше:

$$P = \frac{U^2 \cdot q^2}{\rho \cdot l_{cp} \cdot f_m \cdot Q_{об}} = F^2 \cdot \frac{\rho \cdot l_{cp}}{f_m \cdot Q_{об}} \quad (\text{Б.9})$$

Таким чином, потужність прямо пропорційна квадрату магніторушійної сили й обернено пропорційна коефіцієнту заповнення f_m й площі перетину обмотки $Q_{об}$. Зазвичай застосовується звичайне намотування й намотування "навалом". У першому випадку – провідник укладають рядами щільно виток до витка. Такі обмотки можна мотати вручну або на спеціальних верстатах. У другому випадку – провід намотують без дотримання рядності.

Згідно (Б.1) при заданому діаметрі дроту магніторушійна сила обмотки не залежить від способу укладання провідника. При намотуванні "навалом" число витків при тих же геометричних розмірах каркаса зменшиться в порівнянні з рядовим, струм пропорційно збільшиться, а магніторушійна сила обмотки залишиться без зміни. Потужність, споживана обмоткою, під час намотування "навалом" збільшиться, оскільки зменшиться коефіцієнт f_m .

Для рядового намотування значення f_m беруть в довідковій літературі [2] або знаходять розрахунковим шляхом:

$$f_m \approx \frac{q}{d_1^2} \quad (\text{Б.10})$$

Орієнтовну оцінку нагріву обмотки можна виконати за наступними рекомендаціями [1]. Дослідним шляхом встановлено, що в

обмотці, намотаною проводом ПЕВ-1 й ПЕВ-2 на ізоляційному каркасі, максимальна температура не перевищить 105°C , якщо на кожну одиницю потужності, що виділяється, припадатиме певна бокова поверхня $S_{\text{бок}0}$. Тоді можна ввести поняття питомої охолоджуючої бічної поверхні $\sigma = S_{\text{бок}0}/P$. Розмір цієї поверхні залежить від геометрії обмотки (рисунок Б.1):

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } \frac{l_{\text{об}}}{D_{\text{об}}} < 1, \quad \sigma_0 \geq 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{Вт}; \\ \text{при } \frac{l_{\text{об}}}{D_{\text{об}}} = 1, \quad \sigma_0 \geq 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{Вт}; \\ \text{при } \frac{l_{\text{об}}}{D_{\text{об}}} > 1, \quad \sigma_0 \geq 12 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{Вт}. \end{array} \right\} \quad (\text{Б.11})$$

Якщо в результаті розрахунку виявиться, що $\sigma < \sigma_0$, де

$$\sigma = \frac{S_{\text{бок}0}}{P}, \text{ м}^2/\text{Вт} \quad (\text{Б.12})$$

з рисунку Б.1 отримаємо фактичну бічну охолоджуючу поверхню

$$S_{\text{бок}} = \pi \cdot D_{\text{об}} \cdot l_{\text{об}}, \text{ м}^2, \quad (\text{Б.13})$$

то температура обмотки буде вище допустимої. В цьому випадку необхідно або зменшити магніторушійну силу обмотки, або збільшити площу вікна $Q_{\text{об}}$.

При зміні напруги живлення з U_1 на U_2 й незмінному вікні обмотки, відповідно (Б.1) повинна мати місце залежність

$$U_1 \cdot q_1 = U_2 \cdot q_2, \quad (\text{Б.14})$$

так як ρ та $l_{\text{ср}}$ залишаються без змін, а МДС обмотки має залишитися постійною заданою величиною. Оскільки при переході з одного напруги на інше змінюється діаметр проводу і товщина ізоляції, коефіцієнт заповнення обмотки f_m також змінюється. Скориставшись (Б.9), отримаємо:

$$P_1 f_{m1} = P_2 f_{m2}. \quad (\text{Б.15})$$

При меншому діаметрі провідника (це має місце, якщо $U_1 < U_2$) f_m зменшується через зростання відносної товщини ізоляції. Отже, перехід на більш високу напругу супроводжується збільшенням споживаної потужності й температури обмотки. Якщо не було запасу за температурою нагріву, то це потребує зниження сили, що розвивається електромагнітом.

Для розрахунку обмотки струму вихідними параметрами є магніторушійна сила F і струм ланцюга I . Число витків обмотки знаходиться з виразу

$$W = \frac{F}{I} \quad (\text{Б.16})$$

Перетин провідника доцільно вибрати за рекомендованою щільності струму j :

$$q = I/j \quad (\text{Б.17})$$

де

$$\left. \begin{aligned} j &= (2 - 4) \cdot 10^6, A/m^2 \quad \text{для тривалого режиму роботи;} \\ j &= (5 - 12) \cdot 10^6, A/m^2 \quad \text{для повторно - короткочасного;} \\ j &= (13 - 30) \cdot 10^6, A/m^2 \quad \text{для короткочасного режиму.} \end{aligned} \right\} \quad (\text{Б.18})$$

Площа вікна, займаного рядовою обмоткою, визначається числом витків й коефіцієнтом f_m . З (Б.7) отримаємо:

$$Q_{об} = \frac{W \cdot q}{f_m} \quad (\text{Б.19})$$

Знаючи $Q_{об}$ й використовуючи вирази (Б.3), (Б.4) й (Б.8), можна визначити середню довжину витка, опір обмотки й втрати в ній. Після цього може бути проведена оцінка нагріву за допомогою (Б.11) – (Б.13).

Додаток В

Методика розрахунку електромагніту змінного струму

Вихідними даними для розрахунку обмотки напруги є амплітуди МДС F_m , магнітного потоку Φ_m й напруга мережі U . Для електромагнітів змінного струму справедливо наступне рівняння рівноваги напруг:

$$U^2 = (I \cdot R)^2 + (4,44 \cdot f_c \cdot W \cdot \Phi_m)^2, \quad (\text{B.1})$$

де U й I – діючі значення напруг й струмів, В та А;
 f_c – частота струму мережі, Гц.

Оскільки струм й опір можуть бути розраховані тільки після визначення числа витків, то (B.1) не дозволяє знайти відразу всі параметри обмотки. Завдання вирішується методом послідовних наближень.

У першому наближенні можна прийняти $R = 0$, так як активне падіння напруги значно менше реактивного. Тоді число витків обмотки

$$W = \frac{U}{4,44 f_c \cdot \Phi_m}. \quad (\text{B.2})$$

Так як при розрахунку W ми знехтували активною складовою падіння напруги, то дійсне число витків повинно бути трохи менше. У практичних викладках зазвичай

$$W = \frac{(0,7 - 0,95) \cdot U}{4,44 f_c \cdot \Phi_m}. \quad (\text{B.3})$$

Тоді

$$I = \frac{F_m}{\sqrt{2} \cdot W}. \quad (\text{B.4})$$

Перетин провідників визначають за виразом (B.17), задавшись щільністю струму (B.18). Вибравши стандартний діаметр й спосіб

укладання провідників, знаходимо коефіцієнт заповнення f_M (Б.10) й площа вікна обмотки $Q_{об}$ з (Б.19).

Після цього можна визначити середню довжину витка й активний опір обмотки. Товщину обмотки $h_{об}$ легко знайти за геометричними розмірами котушки (рисунок В.1):

$$h_{об} = \frac{(b_{об} - a_{об})}{2} = \frac{Q_{об}}{l_{об}}. \quad (B.5)$$

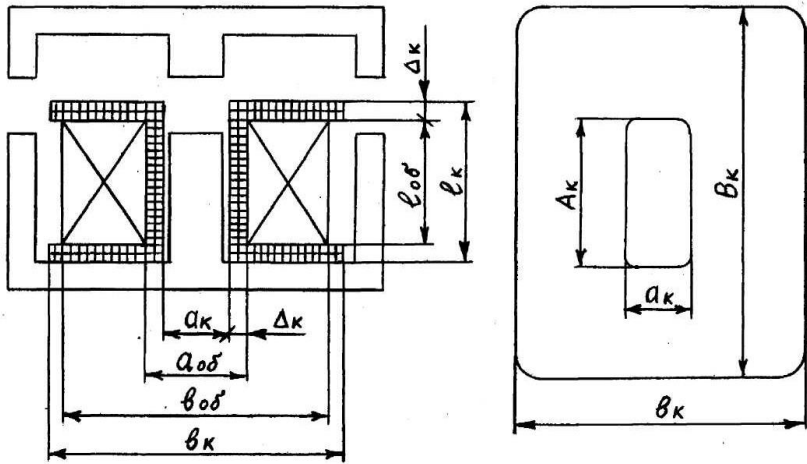


Рисунок В.1 – Електромагніт змінного струму.

Середня довжина витка розраховується через внутрішній $\Pi_{вн}$ й зовнішній $\Pi_{нар}$ периметри обмотки:

$$\Pi_{вн} = 2[(a_k + 2\Delta_k) + (A_k + 2\Delta_k)]. \quad (B.6)$$

$$\Pi_{нар} = 2[(a_k + 2\Delta_k + 2h_{об}) + (A_k + 2\Delta_k + 2h_{об})] \text{ або} \quad (B.7)$$

$$\Pi_{нар} = \Pi_{вн} + 8h_{об}.$$

$$l_{cp} = \frac{\Pi_{вн} + \Pi_{нар}}{2}. \quad (B.8)$$

Активний опір обмотки визначаємо за (Б.4).

Якщо, після підстановки отриманих даних в (В.1) ліва частина відрізняється від правої більш ніж на 10%, то необхідно варіювати число витків до отримання задовільного збігу.

Після розрахунку R проводиться перевірка обмотки на нагрів. Розрахунок ведеться так само, як і для обмоток постійного струму. При цьому в співвідношеннях (Б.11) замість зовнішнього діаметра обмотки $D_{об}$ слід підставляти еквівалентний зовнішній діаметр обмотки

$$D_{нар} = \frac{I_{нар}}{\pi}. \quad (\text{В.9})$$

Особливістю є нагрів магнітопроводу за рахунок втрат від вихрових струмів й гістерезису. Відведення тепла, що виділяється в обмотці, через сердечник ускладнений, й точка з максимальною температурою лежить на внутрішньому радіусі обмотки. Для покращення охолодження прагнуть збільшувати поверхню торців катушки при зменшенні її довжини.

Потужність втрат в обмотці знаходять за виразом

$$P = I^2 R. \quad (\text{В.10})$$

Бічна охолоджуюча поверхня

$$S_{бок} = I_{нар} \cdot l_{об}. \quad (\text{В.11})$$

Якщо обмотка напруги живиться від джерела з напругою U_2 , відміною від номінальної U_1 , й сила тяги повинна залишитися тією ж, то обмотувальні дані повинні бути відповідно змінені. Значення магніторушійної сили й кут зсуву між струмом та напругою при цьому вважаються незмінними. Згідно [1] повинні бути дотримані співвідношення:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2}. \quad (\text{В.12})$$

$$U_1 \cdot q_1 = U_2 \cdot q_2. \quad (\text{В.13})$$

$$Q_{об1}f_{m1} = Q_{об2}f_{m2}. \quad (B.14)$$

Повна потужність обмотки при переході з однієї напруги на іншу і дотриманні зазначених умов не змінюється, через те, що

$$U_1 I_1 = U_2 I_2. \quad (B.15)$$

Для розрахунку обмотки струму із заданими параметрами є діючі значення магніторушійної сили F й струму ланцюга I . Розрахунок таких обмоток ведеться за аналогією з обмотками постійного струму з урахуванням (B.8) – (B.11).