

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

до вивчення дисципліни
“Електричні апарати”
для студентів спеціальності 141
“Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
заочної форми навчання

2018

Програма, методичні вказівки та контрольні завдання до вивчення дисципліни “Електричні апарати” для студентів спеціальності 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” заочної форми навчання / Укл.: М. І. Коцур, Ю.С. Безверхня. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. 35 с.

Укладач: М. І. Коцур, доцент, канд. техн. наук
Ю.С. Безверхня, аспірант

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

Відповідальний

за випуск: Р. Е. Мохнач, зав. лаб. каф. ЕЕА

Затверджено
на засіданні кафедри
“Електричні та електронні апарати”
Протокол № 2
від “14” березня 2018р.

Рекомендовано до видання НМК
Електротехнічного факультету
Протокол №8
від “29” березня 2018р.

ЗМІСТ

1. Мета та завдання дисципліни.....	4
2. Робоча програма й методичні вказівки щодо вивчення дисципліни.....	5
2.1. Призначення та функції, що виконують електричні апарати в системах електропривода та автоматики.....	5
2.2. Електромагнітні процеси та явища в електричних апаратах.....	6
2.3. Електричні апарати керування.....	7
2.4. Електричні апарати комутації та захисту.....	9
2.5. Електромеханічні апарати автоматики.....	10
2.6. Перелік лабораторних робіт.....	11
3. Методичні вказівки, щодо виконання контрольної роботи....	12
Рекомендована література.....	22
Додаток А.....	28
Додаток Б.....	29
Додаток В.....	30
Додаток Г.....	31
Додаток Д.....	32

1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Електричні апарати є основними елементами керування електроенергетичного комплексу будь-якої цивілізованої країни. Без електричних апаратів неможливо уявити собі системи електропостачання промислових підприємств, населених пунктів, електропривода та засобів автоматизації виробництва та сільського господарства. За цих обставин, весь час гостро стоять питання удосконалення електричних апаратів та їх виробництва.

Метою викладання дисципліни "Електричні апарати" є формування у студентів знань, навиків та умінь, що дозволять їм здійснювати проектування та експлуатацію електричних апаратів та використовувати їх для створення більш сучасних та досконалих електротехнічних засобів.

Задачі вивчення дисципліни полягають в тому, щоб студент засвоїв фундаментальні теоретичні основи 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;

вміти:

- здійснювати аналіз фізичних процесів, що відбуваються в електричних апаратах;
- здійснювати елементарні дослідження та розрахунки основних елементів електричних апаратів.

2. РОБОЧА ПРОГРАММА Й МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Призначення та функції, що виконують електричні апарати в системах електропривода та автоматики (18 годин).

Призначення та функції, що виконують електричні апарати в системах електропривода та автоматики. Класифікація електричних апаратів по призначенню, області застосування, принципу дії, конструктивним особливостям. Вимоги до електричних апаратів.

Параметри й характеристики електричних апаратів, що визначають їхній вибір і застосування. Номінальні параметри й режими роботи. Параметри, що характеризують надійність роботи апаратів. Комутаційна й механічна зносостійкість. Комутаційна здатність. Стійкість апарата до наскрізних струмів перевантаження й короткого замикання. Електрична міцність ізоляції електричних апаратів. Припустимі температури нагрівання контактних, струмоведучих і ізоляційних частин. Параметри, що характеризують роботу апарата в часі (швидкість).

(Літ: [1], с.5-11; [2], с.5-7; [3],с.5-14).

Запитання для самоперевірки

1. Дайте поняття про електричний апарат. По яких ознаках можна класифікувати електричні апарати?
2. Як класифікуються апарати по їхнім призначенню (основної виконуваної функції)?
3. Які основні вимоги пред'являються до електричних апаратів?
4. У яких режимах можуть працювати електричні апарати?
5. Сформулюйте поняття про комутаційну й механічну зносостійкість апарата.
6. Сформулюйте вимоги електродинамічної й термічної стійкості апарата.
7. Що таке гранична комутаційна здатність апарата? Якими параметрами вона характеризується?

8. Яким вимогам повинна відповідати ізоляція електричного апарата?
9. Що розуміють під власним часом спрацьовування електричного апарата?
10. Який вплив на величину робочих параметрів апарата можуть виявити умови експлуатації й чому?

2.2. Електромагнітні процеси та явища в електричних апаратах (18 годин).

Основні елементи конструкції контакторів постійного та змінного струму. Робота контактів у розімкнутому стані, розхил контактів. Загальна характеристика електродугового розряду при розмиканні контактів під навантаженням. Загальні принципи дії дугогасильних пристроїв комутаційних апаратів, критичні струми. Електрична ерозія контактів та засоби її обмеження. Металокерамічні контакти. Електромагнітний привод контактора. Характеристика протидіючих сил та тягова характеристика електромагніту, їх узгодження. Особливості конструкції електромагнітів змінного струму. Вібрація якоря та засоби її усунення. Форсовані електромагнітні системи.

(Літ: [1], с. 31-58, с.68-123, 183-239; [2], с.8-23, 43-67, 66-108, 90-142; [3], с. 183-239, 126-133, 83-126, 133-139).

Запитання для самоперевірки

1. Що називається електричним контактом? Назвіть види електричних контактів.
2. Що ставиться до найважливіших характеристик і параметрам контактних систем апаратів?
3. Як залежить опір контактів від контактного натискання й температури?
4. Чим обумовлений комутаційних зношування контактів при відключенні кола? Якими заходами можна його знизити?
5. Опишіть основні стадії розвитку електричної дуги при розмиканні контактів електричного апарата.
- 6.Що являє собою вольт-амперна характеристика дуги? У чому відмінність між статичної й динамічної вольт-амперними характеристиками?

7. У чому полягає умова загасання дуги постійного струму? Чому загасання дуги супроводжується перенапругою?

8. У чому полягають особливості горіння й гасіння дуги змінного струму? Які явища мають місце при проходженні струму через нуль?

9. Сформулюйте умову гасіння дуги змінного струму.

10. Як залежить величина магнітного потоку в робочому зазорі й величина струму в котушці електромагніту постійного струму від величини робочого зазору?

11. Чим відрізняється робота електромагніту змінного струму від роботи електромагніту постійного струму?

12. Як зв'язана величина магнітного потоку в електромагніту змінного струму з величиною прикладеного напруги?

13. Що являють собою статична й динамічна тягові характеристики електромагніту? Чим вони відрізняються?

14. Які способи застосовуються для прискорення дії електромагнітів?

2.3 Електричні апарати керування. (12 годин).

Електричні апарати керування найбільше широко застосовувані й численний вид апаратів. Класифікація апаратів керування, їх основні групи. Командоапарати. Основні поняття й визначення. Призначення, пристрій і застосування кнопок, кнопкових постів, універсальних перемикачів, командо контролерів, подорожніх і кінцевих вимикачів. Вибір командо апаратів виходячи з параметрів і числа, що комутуються ланцюгів. Контролери. Основні поняття й визначення. Призначення, конструктивні виконання й області застосування. Схеми пуску й регулювання частоти обертання двигунів за допомогою командо контролера. Вибір командо контролера, виходячи з параметрів керованого двигуна й частоти включень. Реостати. Основні поняття й визначення. Класифікація реостатів і вимоги до них. Конструктивні виконання реостатів і їх резисторів. Схеми включення пускових і пускорегулюючих реостатів. Вибір резисторів, виходячи із припустимих кидків пускового струму й температура резистора. Вибір реостатів виходячи з потужності, напруги живлення, умов пуску й характеру зміни навантаження при пуску двигуна.

Контактори й пускачі. Основні поняття й визначення. Призначення, принцип дії й категорії застосування контакторів постійного й змінного струмів. Вимоги, пропоновані до контакторів.

Основні параметри й режими роботи контакторів. Особливості конструкцій контакторів постійного й змінного струмів. Магнітні пускачі. Призначення й пристрій пускачів. Вимоги до пускачів, умови їх роботи. Схеми включення пускачів. Вибір контакторів і пускачів відповідно до характеру навантаження, режимом комутації, умовами експлуатації й необхідним терміном служби.

(Літ: [1], с.262-337; [2], с.213-247; [3], с.75-181).

Запитання для самоперевірки

1.Що таке командоапарат? Які групи командо апаратів застосовуються на практиці?

2.Які апарати називаються контролерами? Перелічите види контролерів, укажіть особливості їх конструкції, області застосування й принципи вибору.

3.Які елементи опорів (резистори) застосовуються для реостатів? Як вибирається опір пускового резистора?

4.Які існують види реостатів? Як проводиться їхній вибір?

5.Які апарати називають контакторами? Які функції вони виконують? По яких параметрах проводиться їхній вибір?

6.Що таке категорія застосування контактора? Які категорії застосування існують для контакторів?

7.Як залежать робочі параметри контактора й пропоновані до нього вимоги від категорії застосування контактора й умов його експлуатації?

8.Що таке контактори прискорення? Де вони застосовуються?

9.У чому полягають особливості їх роботи й пристрою?

10.Що являє собою магнітний пускач? Які апарати входять до його складу? Як проводиться вибір магнітного пускача?

11.Приведіть схему включення нереверсивного пускача й поясните його роботу на прикладі пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

2.4 Електричні апарати комутації та захисту (12 годин).

Загальна характеристика аварійних станів, що виникають в системах електропривода та автоматики. Автоматичні вимикачі. Призначення, основні поняття, принцип дії. Вимоги, пропоновані до автоматичних вимикачів. Основні елементи конструкції автоматичних вимикачів, їх функціональне призначення.

Автоматичні вимикачі загальнопромислового застосування (універсальні й настановні). Особливості конструкції, основні параметри й характеристики. Область застосування. Швидкодіючі автоматичні вимикачі. Способи підвищення швидкодії вимикачів. Особливості конструкції. Основні параметри й характеристики. Область застосування.

Плавкі запобіжники. Призначення й вимоги, пропоновані до запобіжників. Основні параметри й характеристики. Вибір запобіжників для захисту електродвигунів з умов тривалої експлуатації й по пусковому струму. Вибір запобіжників за умовою селективності відключення ушкоджених ділянок електричного кола. Особливості вибору швидкодіючих запобіжників для захисту потужних напівпровідникових приладів.

(Літ: [1], с.504-552; [2], с.186-212; [3], с.168-242).

Запитання для самоперевірки

1. Які аварійні режими роботи можуть мати місце в електроустановках? Чому необхідний захист електроустановок від цих режимів?

2. Які апарати називають автоматичними вимикачами? Які до них пред'являються загальні вимоги ?

3. Перелічіть основні конструктивні елементи автоматичних вимикачів. Укажіть функціональне призначення кожного із цих елементів.

4. Які функції виконують автоматичні вимикачі гасіння поля? У чому полягають особливості їх роботи?

5. Які параметри й режими роботи, що захищається електроустановки враховуються при виборі автоматичного вимикача?

6. З яких основних елементів складаються плавкі запобіжники? Які вимоги пред'являються до запобіжників?

7. Надайте визначення прикордонного й номінального струмів плавкої вставки. Що характеризує їхнє відношення?

8. Як проводиться вибір плавких запобіжників для захисту електродвигуна? Як співвідносяться номінальний струм плавкої вставки й пусковий струм двигуна?

2.5 Електромеханічні апарати автоматики. (12 годин).

Електромеханічні реле, датчики - їх призначення, класифікація за функціями та принципом дії. Основні параметри.

Класифікація реле. Загальні для реле всіх видів параметри й характеристики. Вимоги, пропоновані до реле.

Електромагнітні реле струму й напруги, їх пристрій, принцип дії. Коефіцієнт повернення й способи збільшення його. Схеми включення реле струму для захисту електродвигунів і енергосистем.

Електромагнітне реле часу. Принцип дії, пристрій, способи регулювання витримки часу при втягуванні й відпусканні якоря реле. Застосування для схем пуску двигунів у функції часу, для схем автоматизації технологічних процесів і т.п. Поляризовані реле. Пристрій, принцип дії, основні параметри й характеристики. Застосування в схемах автоматики.

Теплові реле. Принцип дії, пристрій, час-струмова характеристика. Застосування для захисту енергетичного встаткування від струмових перевантажень, у складі магнітних пускачів і т.п. Герконові реле. Принцип дії. Способи керування.

(Літ: [1], с. 337-403; [2], С.248-261; [3], С.57-74; [4], с.150-170).

Запитання для самоперевірки

1. Які електричні апарати називають реле?
2. Що таке характеристика вхід-вихід реле? Перелічите основні параметри реле.
3. Які вимоги пред'являються до реле? Як співвідносяться ці вимоги із призначенням і умовами експлуатації реле?
4. Поясніть принцип дії електромагнітних реле. На які параметри впливу такі реле можуть реагувати?

5. Який принцип дії електромагнітного реле часу? Де вони застосовуються? Як проводиться їхній вибір для схем пуску двигунів у функції часу?

6. Які реле називають поляризованими? У чому полягають їхні переваги в порівнянні з нейтральними реле? Де вони застосовуються?

7. Які реле називаються тепловими? На чому заснований їхній принцип дії?

8. Які пристрої називаються герконами? У чому полягають переваги герконових реле в порівнянні з електромагнітними? Де вони знаходять застосування?

2.6 Перелік лабораторних робіт

2.6.1 Контакттор постійного струму. (2 години).

2.6.2 Автоматичний вимикач. (2 години).

3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Контрольне завдання виконується з метою закріплення теоретичних знань та практичних вмінь, одержаних в наслідок вивчення дисциплін. Контрольна робота містить теоретичне питання і рішення задач. Варіанти завдання задаються викладачем. Контрольна робота оформлюється відповідно СТП – 1596 з наведеними даними студента: прізвище, група, шифр (номер залікової книжки).

Завдання 3.1

Струмопровід до автоматичного вимикача постійного струму виконаний мідними прямокутними шинами перетином $b \times h$, розташованими паралельно широкій стороні друг до друга при відстані a й закріпленими на опорних ізоляторах на відстані l між сусідніми ізоляторами. Вибрати розміри перетину b та h струмопровідних шин виходячи із тривалого режиму роботи вимикача при $I_{ном}$ і його електродинамічної стійкості при наскрізному струмі короткого замикання $I_{кз}$ (максимальне значення струму, що пропускається). Дані для розрахунків представлені в табл.А.1. (Додаток А).

Методичні вказівки до завдання 3.1

Визначення розмірів перетину шин, виходячи із тривалого режиму роботи:

$$S_{\text{дл}} = \frac{I}{j_{\text{дон}}},$$

де $j_{\text{дон}} = 2 \text{ А/мм}^2$ - припустима з умови нагрівання шинопровода щільність струму.

Відношення вузької сторони перетину шинопроводу до його широкої сторони b / h звичайно ухвалюється в межах від 0,1 до 0,25. При цьому розміри перетину вибираються зі стандартних рядів для мідного прокату. Для розміру b :... 3, 4,5,6, 8, 10, 12...мм, для розміру h :... 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120 ... мм.

Обрані розміри b та h повинні забезпечувати перетин не менш $S_{\text{дл}}$ і максимально близьке до нього.

Визначення розмірів перетину шин, виходячи з електродинамічної стійкості при струмі короткого замикання.

Електродинамічна сила, що діє на ділянку шинопроводу довжиною l .

$$P_{\text{эд}} = 10^{-7} K \cdot K_{\phi} \cdot I^2_{\text{кз}},$$

$$K = \frac{2 \cdot l}{a} \cdot \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l}\right)^2} - \frac{a}{l} \right],$$

де K_{ϕ} - коефіцієнт форми, визначається по кривим Двайта ([1], с.38, рис. 1.5 або [2], с.13. рис.2-4).

Максимальна згинаюча механічна напруга в шині

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{P_{\text{эд}} \cdot l}{12 \cdot W_{\text{из}}} = \frac{P_{\text{эд}} \cdot l}{2 \cdot h \cdot b^2},$$

де $W_{\text{из}}$ - момент опору вигину шини, мм³

Якщо $\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{дон}} = 13,7 \cdot 10^5$ Н/мм², то перетин мідних струмовідвідних шин, обране виходячи із тривалого режиму роботи, приймається остаточним. Якщо ж $\sigma_{\text{max}} > \sigma_{\text{дон}}$ то необхідно збільшити товщину шинопроводу, виходячи зі співвідношення

$$b = \sqrt{\frac{P_{эд} \cdot l}{2 \cdot h \cdot \sigma_{дон}}}$$

Завдання 3.2.

Для прямого пуску короткозамкненого асинхронного електро-двигуна серії 4А потужністю P , що живиться від мережі з номінальною напругою $U_{ном} = 380$ В, використовується магнітний пускач, схема включення якого представлена на рис.3.1. До складу пускача входять контактор КМ і теплові реле КК1 і КК2. Визначити необхідні параметри двигуна й вибрати тип пускача й параметри його теплових реле. Дані для розрахунків наведені в табл.Б.1. (Додаток Б). Технічні дані деяких типів пускачів й теплових реле наведені відповідно у табл. Б.2, та табл. Б.3. (Додаток Б).

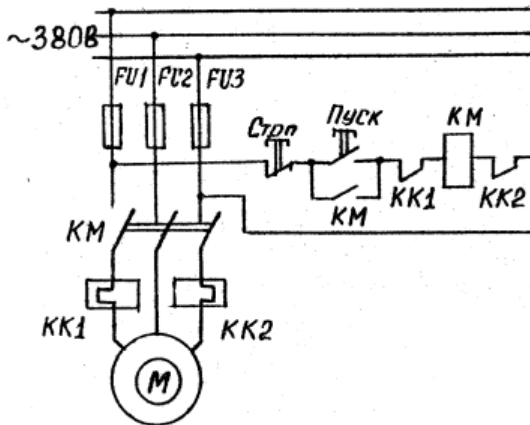


Рисунок 3.1 – Схема під'єднання магнітного пускача та двигуна до мережі.

Методичні вказівки до завдання 3.2

Визначення номінального струму двигуна

$$I_{н_дв} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta},$$

де $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності двигуна; η - ККД двигуна (табл. Б.1).

По величині цього струму з табл. Б.2 проводиться вибір пускача таким чином, щоб максимальний робочий струм пускача в категорії застосування АС-3 (пуск електродвигунів з короткозамкненим ротором, відключення обертових двигунів при номінальному навантаженні) був не менш номінального струму двигуна й максимально близьким до нього.

Визначення номінального струму уставки теплового реле.

Для кращого узгодження перевантажувальної характеристики двигуна й захисної (час-струмової) характеристики реле номінальний струм уставки обирається на 15-20% вище номінального струму двигуна, тобто

$$I_{уст.н} = (1,15 \cdot \dots \cdot 1,20) I_{н_дв},$$

тому що в теплове реле обраного вище пускача може бути встановлений тепловий елемент із різним номінальним струмом (струмом спрацьовування при нульовому положенні регулятора), то з ряду цих струмів для реле пускача (табл.Б.3) необхідно вибрати значення, найближче до $I_{уст.н}$ і перевірити чи знаходиться величина в межі регулювання номінального струму уставки ($\pm 25\%$). Обрані в такий спосіб параметри реле забезпечують відключення двигуна, наприклад, при струмі перевантаження $1,3 I_{н_дв}$ за час не більш 10-20 хв., а при перевантаженні струмом $10 I_{н_дв}$ за час не більш 2-5 с.

Завдання 3.3.

Для захисту від струмів короткого замикання кола живлення короткозамкненого асинхронного електродвигуна потужністю P (рис.3.1 та табл. Б.1.) використовуються плавкі запобіжники серії ПР-2 (розбірні, без наповнювача).

Визначити номінальний і прикордонний струми, а також перетин мідної плавкою вставки й вибрати найбільш близьке по номіналь-

ному струму плавкої вставки виконання запобіжника. Технічні дані запобіжників серії ПР-2 наведені у табл.В.1. (Додаток В).

Методичні вказівки до завдання 3.3

Визначення номінального струму плавкої вставки.

Плавка вставка запобіжника не повинна відключати двигун при короткочасних перевантаженнях його пусковими струмами. Для двигунів серії А02 величина пускового струму $I_n = 7 \cdot I_{n_дв}$.

Для захисту одиничних двигунів у більшості практичних випадків номінальний струм плавкої вставки рекомендується визначати зі співвідношення

$$I_{вст.ном} = \frac{I_{n_дв}}{2,5}.$$

Відповідно до розрахованого значення $I_{вст.ном}$ з табл. В.1 вибирається номінальний струм плавкої вставки - найближче більше значення. Відповідно до обраного значення $I_{вст.ном}$ визначається виконання запобіжника (по його номінальному струму).

Визначення пограничного струму плавкої вставки.

Під пограничним струмом розуміють номінальний струм, при якому згорає плавка вставка, досягнувши усталеної температури.

Розрахунковий пограничний струм $I_{погр}$ береться трохи більше номінального струму плавкої вставки. Відношення $I_{погр} / I_{вст.ном}$ для мідних вставок становить 1,6...1,8, т.ч. $I_{погр} = (1,6...1,8) \cdot I_{вст.ном}$

Визначення діаметра мідної плавкої вставки.

Виходячи з балансу підведеного та відведеного від плавкої вставки потужностей, діаметр плавкої вставки визначається з рівняння

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot I_{погр}^2 \cdot (1 + \alpha_c \cdot T_{пл}) \cdot \rho_0}{\pi^2 \cdot K_T \cdot (T_{пл} - T_{окр})}}$$

де $\rho_0 = 0,0175 \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}$ – питомий опір міді;

$\alpha_c = 0,004 \text{ град}^{-1}$ – температурний коефіцієнт опору для міді;

$T_{пл} = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура плавлення міді;

$T_{окр} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура зовнішнього середовища;

$K_T = 11 \cdot 10^{-6} \text{ Вт/мм}^2 \cdot \text{}^\circ\text{C}$ – коефіцієнт теплопередачі з зовнішньої поверхні вставки.

Завдання 3.4.

Визначити струми спрацьовування й відпускання, а також коефіцієнт повернення нейтрального екранованого герконового реле керування, що містить обмотку з числом витків W і один симетричний замикаючий магнітокерований контакт (рис.3.2, обмотка керування не показана).

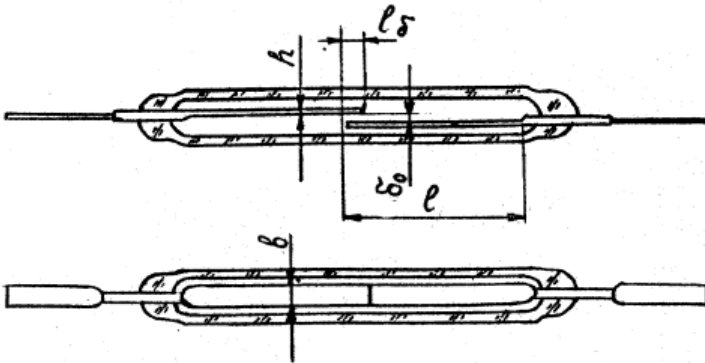


Рисунок 3.2 – Герконове реле

Вихідні дані для розрахунків.

Розміри електродів геркона: довжина $l = 20 \text{ мм}$; ширина $b = 2,6 \text{ мм}$; товщина $h = 0,5 \text{ мм}$. Жорсткість електродів $C = 1,66 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$. Довжина перекриття в робочому зазорі $l_s = 1,2 \text{ мм}$. Величина кінцевого робочого зазору $\delta_{\text{мін}} = 0,01 \text{ мм}$. Коефіцієнт симетрії геркона

$K_{cm} = 0,5$. Коефіцієнт магнітної провідності шляхом розсіювання $K_{роз}$
 $= 0,1$. Коефіцієнт магнітної провідності магнітопроводу $K_{cm} = 2$. Величина початкового робочого зазору δ_o та число витків обмотки керування w наведені у табл.Г.1. (Додаток Г).

Методичні вказівки до завдання 3.4

Магніторушільна сила (МРС) спрацювання реле керування визначається за рівнянням:

$$F_{cn} = \frac{2 \cdot \delta_o}{3} \cdot \left(\frac{1}{K_{cm}} + 1 + \frac{K_{роз}}{K_{cm}} \right) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \delta_o}{3} \cdot \left(1 + \frac{1}{K_{cm} + K_{роз}} \right) \cdot \frac{C \cdot K_{cm}}{\mu_o \cdot b \cdot l_\delta}},$$

де $\mu_o = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність у вакуумі.

Струм спрацювання реле

$$I_{cn} = \frac{F_{cn}}{w}.$$

Аналогічно визначається МРС відпускання реле

$$F_{відн} = \frac{\delta_o / \delta_{мін} + K_{cm} + K_{роз}}{K_{cm}} \cdot \delta_{мін} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot C \cdot (\delta_o - \delta_{мін}) \cdot K_{cm}}{\mu_o \cdot b \cdot l_\delta}}.$$

Струм відпускання реле

$$I_{відн} = \frac{F_{відн}}{w}.$$

Коефіцієнт повернення реле

$$K_n = \frac{I_{\text{вiдн}}}{I_{\text{сн}}}.$$

Завдання 3.5.

У пускорегулювальному реостаті використовується резистор, виконані з константанового дроту, намотаної на теплоємний фарфоровий циліндр, що має жолобки для укладання константанового дроту. Діаметр циліндрів $D=36$ мм, число жолобків n , активна довжина циліндра l , маса циліндра G_k , діаметр дроту d .

Визначити опір і навантажувальну здатність резистора при тривалому режимі роботи, а також постійну часу нагрівання, коефіцієнт перевантаження й припустимий струм перевантаження для короткочасного режиму роботи тривалістю $t_{кр}$. Дані для розрахунків наведені в табл.Д.1. (Додаток Д).

Методичні вказівки до завдання 3.5

Опір резистора

$$R = \rho \cdot \frac{l_{np}}{S_{np}} = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) \cdot \frac{4 \cdot D \cdot n}{d^2},$$

де $\rho_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Ом·м – питомий опір константану при 0°C ;

$\alpha = 14,4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ – температурний коефіцієнт опору для константану;

$l_{np} = \pi \cdot D \cdot n$ - довжина дроту, що укладається в жолобки циліндра, мм;

S_{np} - перетин дроту, м^2 ;

$T = 500^\circ\text{C}$ - припустима температура нагрівання константанового дроту на фарфоровому каркасі.

Навантажувальна здатність резистора при тривалому режимі роботи оцінюється припустимою величиною струму

$$I_{mp} = \sqrt{\frac{K_m \cdot F_{np} \cdot \tau_{\text{дон}}}{R}},$$

$$F_{np} = \pi \cdot d \cdot l_{np} = \pi^2 \cdot d \cdot D \cdot n,$$

де $K_m = 22,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні дроту;

F_{np} - поверхня дроту, м^2 ;

$\tau_{\text{дон}} = 400 \text{ °C}$ - припустиме перевищення температури константового дроту над температурою навколишнього середовища усередині реостата.

Постійна часу нагрівання резистора при короткочасному режимі роботи

$$\vartheta = \frac{\beta_k \cdot c_k \cdot G_k + c_0 \cdot G_0}{K_{mk} \cdot F_k},$$

$$G_0 = \gamma_0 \cdot S_{np} \cdot l_{np} = \frac{\gamma_0 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot D \cdot n}{4},$$

$$F_k = \pi \cdot D \cdot l,$$

де $\beta_k = 0,35$ - коефіцієнт, що враховує участь фарфорового циліндра у тепловідводі від дроту в короткочасному режимі роботи;

$c_k = 1,05 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{°C})$ – питома теплоємність фарфору;

$c_0 = 0,4 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{°C})$ – питома теплоємність константа;

G_0 - маса дроту циліндра, кг;

$\gamma_0 = 8,9 \text{ г}/\text{см}^3$ – густина константа;

$K_{mk} = 0,0023 \text{ Вт}/(\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні фарфорового циліндру;

F_{κ} - зовнішня бокова поверхня циліндра, м;

Коефіцієнт перевантаження резистора по струму в короткочасному режимі роботи

$$p = \frac{1}{\sqrt{1 - e^{-t_{кр}/g}}}$$

Припустимий струм перевантаження резистора в короткочасному режимі роботи

$$I_{кр} = p \cdot I_{mp}$$

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Чунихин, А. А. Электрические аппараты [Текст] / А. А. Чунихин. М.: Энергоатомиздат, 1966.
2. Родштейн, Л. А. Электрические аппараты [Текст] / Л. А. Родштейн. - Л.: Энергоиздат, 1981.
3. Таев, И. О. Электрические аппараты управления [Текст] / И. О. Таев. - М.: Высш. школа, 1984.
4. Электрические и электронные аппараты [Текст] / Под ред. Ю.К.Розанова. - М.: Энергоатомиздат, 1998.

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

1. Андриенко, П. Д. Анализ термической стойкости изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором при разных способах управления [Текст] / П. Д. Андриенко, И. М. Коцур, М. И. Коцур // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – №3(79). – С. 420 – 422.
2. Коцур, М.И. Повышение энергоэффективности схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора [Текст] / М. И. Коцур // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. –2011. – №2(14). – С. 86-89.
3. Коцур, М. И. Особенности выбора балластного сопротивления для схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора [Текст] / М. И. Коцур // Електротехнічні та комп'ютерні системи. –2011. – №4(80). – С. 56 – 61.
4. Коцур, М. И. Оценка ресурса системы изоляции управляемого асинхронного двигателя с фазным ротором в подсинхронном диапазоне частоты вращения ротора [Текст] / М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2011. – №5/8(53). – С. 41 – 45.
5. Коцур, М. И. Особенности режимов работы модифицированной системы импульсного регулирования асинхронного двигателя с фазным ротором [Текст] / М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – №3(19). – С. 163 – 165.
6. Коцур, М.И. Оценка теплового состояния изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором с модифицированной системой

импульсного регулирования [Текст] / М.И. Коцур // Электротехніка та електроенергетика. – 2013. – №1. – С.31-36.

7. Коцур, М.И. Тепловое состояние асинхронного двигателя при пониженных скоростях вращения [Текст] / М.И. Коцур // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №2/8(62). – С.8-10.

8. Коцур, М. И. Сравнительный анализ энергоэффективности систем регулирования асинхронного двигателя с фазным ротором [Текст] / М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур // Ползуновский вестник. – 2013. – №4-2. – С.114-120.

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

10. Андриенко, П. Д. Энергоэффективное торможение противовключением электроприводов на базе асинхронных двигателей с фазным ротором [Текст] / П. Д. Андриенко, Д. С. Андриенко, М. И. Коцур, С. В. Калюжный // Электротехнічні та комп'ютерні системи. – 2014. – №15(91). – С. 89 – 91.

11. Андриенко, Д. С. Преобразователь для электропривода согласованного вращения асинхронных двигателей с фазным ротором. [Текст] / Д. С. Андриенко, П. Д. Андриенко, М. И. Коцур, И. М. Коцур // Энергосбережение, Энергетика, Энергоаудит. – 2014. – №9(128). – Т.2. – С. 37 – 42.

12. Коцур, М. И. Повышение эффективности режима торможения противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором [Текст] / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. В. Близняков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №1/8(73). – С.27-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36670>

13. Kotsur, M. Impulse-controlled system for matched rotation of induction motors [Text] / M. Kotsur, P. Andrienko, O. Bliznyakov, A. Andrienko, D. Andrienko // Electrotechnic and Computer Systems. – 2015. – № 19 (95). – С. 14 – 17.

14. Андриенко, П. Д. Особенности построения энергоэффективной системы регулирования приводов электротехнических комплексов [Текст] / П. Д. Андриенко, М. И. Коцур, Д. А. Кулагин // Современная наука – обществу XXI века: коллективная монография / под

ред. И. Н. Титаренко. – Ставрополь: Логос. - 2015. – Гл. 3. – С. 48 – 65. – ISBN 978-5-905519-13-0.

15. Коцур, М. И. Регулируемый асинхронный электропривод с улучшенными характеристиками [Текст] / М. И. Коцур, А. А. Андриенко, Д. С. Андриенко, О. В. Немыкина // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2016. – №22(98). – С. 74 – 78.

16. Коцур, М. И. Определение оптимальной частоты коммутации вентиля преобразователя по схеме частотно-токового асинхронно-вентильного каскада [Текст] / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. А. Андриенко, Д. С. Андриенко // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2016. – №1. – С. 5 – 11.

17. Kotsur, M. Synchronization methods of the induction motors rotation in energy-efficient electric drive system [Text] / M. Kotsur // *Fundamental and Applied Studies in the Modern World: papers and commentaries / The University of Oxford*. – Oxford. - 2016. – Volume XV. – P. 384-389.

18. Яримбаш, Д. С. Особенности трехмерного моделирования электромагнитных полей асинхронного двигателя [Текст] / Д. С. Яримбаш, М. И. Коцур, С. Т. Яримбаш, И. М. Коцур // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2016. – №2. – С. 43 – 50. DOI: <http://dx.doi.org/10.15588/1607-6761-2016-2-5>

19. Коцур, М. И. Повышение эффективности электропривода вентиляторных установок [Текст] / 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.15276/eltecs.25.101.2017.01>

20. Yarymbash, D. A New Simulation Approach of the Electromagnetic Fields in Electrical Machines [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Subbotin, A. Oliinyk // *IEEE: The International Conference on Information and Digital Technologies, July 5th - 7th, 2017: Catalog Number CFP17CDT-USB*. - Slovakia, 2017. - p. 452-457.

21. Яримбаш, Д. С. Особенности определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя для режима короткого замыкания [Текст] / Д. С. Яримбаш, М. И. Коцур, С. Т. Яримбаш, И. М. Коцур // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2017. – №1. – С. 24 – 30. DOI: <http://dx.doi.org/10.15588/1607-6761-2017-1-4>.

22. Kotsur, M.I. Converter for frequency-current slip-power recovery scheme [Text] / M.I. Kotsur, P.D. Andrienko, I. M. Kotsur, O.V

Bliznyakov // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2017. - №4. – P. 49-54.

23. 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. - P. 207-210.

24. 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), November 15th - 17th 2017. - Kremenchuk, Ukraine, 2017.- P. 88-91.

25. Дивчук, Т. Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами [Текст] / Т. Е. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, И. М. Коцур, Ю. С. Безверхняя // Электротехника и электроэнергетика. – 2017. – № 2. - С. 56-66. – Режим доступа : DOI : [10.15588/1607-6761-2017-2-6](https://doi.org/10.15588/1607-6761-2017-2-6).

26. Kotsur, M. Speed Synchronization Methods of the Energy-Efficient Electric Drive System for Induction Motors [Text] / M. Kotsur, D. Yarymbash, I. Kotsur, Yu. Bezverkhnya // IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), February 20-24 2018. - Lviv-Slavske, Ukraine, 2018 (processing).

27. 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. Kilimnik, T. Divchuk // IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), February 20-24 2018. - Lviv-Slavske, Ukraine, 2018 (processing).

28. 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 // Электротехника та електроенергетика. – 2010. - №2. – С. 36 – 43.

29. Ярымбаш, Д.С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока

[Текст] / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш, И.М. Килимник // Электротехника и электроэнергетика. – 2011. – №1. – С. 64 – 69.

30. Ярымбаш, Д.С. Особенности измерения переменного тока в токоподводах печей графитации [Текст] / Д.С. Ярымбаш // Электротехника и электроэнергетика. – 2005. - №1. – С. 74 – 76.

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

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

33. Ярымбаш, Д. С. Особенности моделирования электромагнитных процессов в индукторе калибра мундштука пресса [Текст] / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник // Вісник кременчуцького державного політехнічного університету. – 2007. – №4 (45). – Ч. 1. – С. 53–55.

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

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

36. Ярымбаш, Д. С. Динамическая адаптация схемных моделей короткой сети [Текст] / Д.С. Ярымбаш, И.М. Килимник, С.Т. Ярымбаш // Электротехника и электроэнергетика. – 2015. – № 2. - С. 65-70.

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

38. Ярымбаш, Д.С. Моделирование температурных режимов электротехнологической системы «индукторы - мундштук» на подготовительном этапе тура прессования [Текст] / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // Электротехника и электроэнергетика. - Запорожье: ЗНТУ. - 2006. - № 1. - С. 56 - 60.

39. Дивчук, Т. Е. Особенности определения параметров силовых трансформаторов методами схемно-полевого моделирования [Текст] / Дивчук, Т. Е., Д. К. Мимоход, С. А. Кутилин, А. Е. Кузнецов, Ю. В. Гуразда, И. С. Сирых // Электротехника и электроэнергетика. – 2017. – № 1. - С. 61-70.

40. Yarymbash, D. Features of Defining Three-Phase Transformer No-Load Parameters by 3D Modeling Methods [Text] / D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kilimnik, T. Divchuk, D. Litvinov // IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), November 15th - 17th 2017. - Kremenchuk, Ukraine, 2017. - P. 88-91.

Додаток А

Таблиця А.1 – Данні для виконання завдання 3.1

№ вар.	a , мм	l , мм	I_n , А	$I_{кз}$, кА	№ вар.	a , мм	l , мм	I_n , А	$I_{кз}$, кА
1	60	150	160	55	31	115	225	650	158
2	60	160	200	60	32	125	230	900	164
3	65	170	250	75	33	130	235	1050	168
4	70	170	400	80	34	135	240	1100	170
5	75	180	600	100	35	135	250	1500	172
6	80	180	800	120	36	140	245	1400	176
7	90	200	1000	160	37	145	255	1430	181
8	100	200	1600	200	38	80	50	1700	180
9	110	210	2000	250	39	85	55	1800	189
10	120	210	2500	300	40	90	60	2200	190
11	54	137	150	890	41	97	65	2300	194
12	85	190	52	100	42	113	70	2150	204
13	35	100	100	57	43	140	75	2300	210
14	40	105	100	65	44	180	80	2400	205
15	40	110	110	68	45	150	85	850	214
16	45	115	110	85	46	155	90	1000	220
17	45	120	120	105	47	55	95	650	222
18	50	125	120	109	48	95	260	700	214
19	50	130	130	111	49	83	265	850	225
20	52	135	130	115	50	37	270	950	231
21	55	140	140	165	51	68	275	1070	228
22	57	145	150	124	52	116	280	85	40
23	60	165	170	128	53	98	285	2170	41
24	62	175	180	130	54	147	290	2410	35
25	65	185	230	133	55	170	295	970	45
26	76	190	300	139	56	175	300	1700	49
27	70	195	315	140	57	25	305	1850	239
28	85	205	450	142	58	43	310	1900	240
29	95	215	500	147	59	135	315	500	250
30	105	220	570	150	60	115	320	300	280

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Данні для виконання завдання 3.2

№ вар.	P , кВт	$\cos \varphi$, в.о.	η , в.о.	№ вар.	P , кВт	$\cos \varphi$, в.о.	η , в.о.
1	15	0,91	0,88	31	15	0,94	0,90
2	18,5	0,92	0,885	32	15	0,88	0,91
3	22	0,91	0,885	33	22	0,89	0,92
4	15	0,88	0,885	34	22	0,90	0,88
5	18,5	0,88	0,895	35	22	0,84	0,90
6	22	0,9	0,9	36	7,5	0,75	0,80
7	11	0,86	0,86	37	7,5	0,78	0,85
8	15	0,87	0,875	38	3,5	0,65	0,79
9	11	0,75	0,87	39	3,5	0,68	0,87
10	15	0,82	0,87	40	22	0,81	0,90
11	7,5	0,89	0,75	41	55	0,83	0,915
12	15	0,72	0,81	42	11	0,90	0,90
13	7,5	0,80	0,81	43	15	0,90	0,88
14	11	0,85	0,88	44	18,5	0,84	0,84
15	11	0,90	0,89	45	22	0,91	0,90
16	30	0,90	0,90	46	11	0,905	0,91
17	30	0,88	0,91	47	15	0,911	0,93
18	37	0,89	0,92	48	3,5	0,65	0,85
19	37	0,91	0,85	49	7,5	0,71	0,92
20	55	0,88	0,885	50	37	0,925	0,925
21	55	0,85	0,85	51	37	0,90	0,905
22	55	0,81	0,855	52	28	0,90	0,91
23	28	0,90	0,895	53	55	0,86	0,905
24	28	0,91	0,87	54	37	0,87	0,895
25	28	0,885	0,89	55	11	0,89	0,87
26	11	0,86	0,87	56	7,5	0,72	0,835
27	11	0,81	0,90	57	3,5	0,70	0,84
28	18,5	0,89	0,90	58	18,5	0,90	0,91
29	18,5	0,905	0,88	59	22	0,915	0,92
30	15	0,92	0,90	60	55	0,905	0,915

Таблиця Б.2 – Технічні данні магнітних пускачів при $U_{\text{ном}}=380\text{В}$

Тип захисного виконання	Номінальний струм, А	Максимальний робочий струм при категорії виконання АС-3	Тип вбудованого реле
ПМЕ-122	10	7,5	ТРН-8
ПМЕ-222	23	18	ТРН-25
ПА-322	40	30	ТРН-35
ПА-422	56	50	ТРП-60
ПА-522	11	100	ТРП-150
ПА-622	140	135	ТРП-150

Таблиця Б.3 – Технічні данні теплових реле

Тип захисного виконання	Номінальний струм, А	Номінальні струми теплових елементів реле, А (при нульовому положенні регулятора)	Межі регулювання номінального струму установки
ТРН-8	10	2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,8; 8; 10.	від $0,75 I_{ном}$ до $1,25 I_{ном}$
ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	
ТРН-32	40	16; 20; 25; 32; 40	
ТРП-60	60	25; 30; 40; 50; 60	
ТРП-150	150	50; 60; 80; 100; 120; 150	

Таблиця В.1 – Технічні дані запобіжників серії ПР-2 при напрузі 380В

Номінальний струм запобіжника, А	Номінальні струми плавкої вставки, А	Граничний струм відключення при $\cos \varphi_A = 0,4$, А
15	6, 10 та 15	4500
60	15, 20, 25, 35 45 та 60	8000
100	60, 80 та 100	11000
200	100, 125, 160 та 200	11000
350	200, 225, 260 300 та 350	13000
600	350, 430, 500 та 600	20000

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Данні для виконання завдання 3.4

№ вар.	δ_0 , мм	w, число витків	№ вар.	δ_0 , мм	w, число витків
1	0,20	15000	31	0,9	10000
2	0,21	18000	32	0,36	10900
3	0,22	20000	33	0,37	11400
4	0,23	22000	34	0,47	12300
5	0,24	25000	35	0,57	12800
6	0,25	30000	36	0,67	13400
7	0,22	15000	37	0,33	14800
8	0,23	18000	38	0,38	15150
9	0,24	20000	39	0,43	21600
10	0,25	25000	40	0,53	18300
11	0,15	14500	41	0,61	10100
12	0,20	20000	42	0,62	10600
13	0,28	16000	43	0,66	17800
14	0,29	17000	44	0,68	5000
15	0,30	21000	45	0,71	6000
16	0,31	18000	46	0,73	890
17	0,32	19000	47	0,76	11190
18	0,33	21000	48	0,77	20350
19	0,34	14000	49	0,81	22800
20	0,50	13000	50	0,83	34000
21	0,55	14500	51	0,39	35000
22	0,35	15500	52	0,15	8000
23	0,40	18400	53	0,16	9560
24	0,45	19500	54	0,17	22900
25	0,60	19800	55	0,18	13650
26	0,65	20500	56	0,19	18100
27	0,70	20900	57	0,20	19300
28	0,75	21500	58	0,59	35650
29	0,80	24500	59	0,67	11400
30	0,85	24100	60	0,36	13300

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Данні для виконання завдання 3.5

№ вар.	d , мм	$t_{кр}$, с	n	l , мм	G_k , кг
I	II	III	IV	V	VI
1	0,8	10	30	100	180
2	1,0	12	30	100	180
3	1,2	15	30	100	180
4	1,4	18	30	100	180
5	1,6	20	30	100	180
6	1,4	12	40	145	260
7	1,6	15	40	145	260
8	1,8	18	40	145	260
9	2,0	20	40	145	260
10	2,2	25	40	145	260
11	0,71	7	30	95	170
12	2,0	15	30	100	180
13	2,5	16	45	70	5
14	2,6	17	45	70	10
15	2,7	19	45	70	20
16	2,8	21	45	70	25
17	2,9	22	35	80	30
18	3,0	23	35	90	35
19	3,1	24	35	100	40
20	3,2	17	35	110	50
21	3,3	16	35	120	60
22	1,5	19	50	130	70
23	1,7	21	50	140	80
24	1,9	22	50	150	90
25	2,1	23	50	75	100
26	0,5	26	55	85	110
27	0,6	27	55	95	120
28	0,7	28	55	105	130
29	0,9	50	55	115	140

Продовження таблиці Д.1.

I	II	III	IV	V	VI
30	1,1	55	60	125	150
31	3,5	100	60	135	160
32	3,6	60	60	155	170
33	3,7	40	60	160	190
34	3,8	30	70	165	200
35	3,9	20	70	170	210
36	4,0	90	70	175	220
37	4,1	80	70	180	230
38	4,2	70	65	185	240
39	4,3	75	65	190	250
40	4,4	35	65	200	6,4
41	0,95	65	65	195	7,9
42	4,9	45	75	85	15
43	4,8	35	75	75	20
44	4,5	85	75	65	18
45	4,6	56	75	85	24
46	4,7	57	20	95	8
47	5,0	58	20	105	11
48	5,1	59	20	200	12
49	5,2	61	25	195	84
50	5,3	62	25	190	50
51	5,4	63	25	185	20
52	5,5	30	100	180	24
53	5,6	40	100	71	37
54	5,7	35	100	75	42
55	5,8	45	90	75	45
56	5,9	47	90	110	35
57	6,0	36	80	120	65
58	6,1	37	80	130	85
59	6,2	38	80	140	95
60	6,3	44	80	150	75