

Міністерство освіти і науки України
Кіровоградський національний технічний університет

Факультет автоматики та енергетики
Кафедра електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту

АПАРАТИ КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ

Методичні вказівки до курсової роботи
для студентів денної та заочної форми навчання за напрямком
6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи в
агропромисловому комплексі»

Кіровоград 2014

Міністерство освіти і науки України
Кіровоградський національний технічний університет

Факультет автоматики та енергетики
Кафедра електротехнічних систем та
енергетичного менеджменту

АПАРАТИ КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ

Методичні вказівки до курсової роботи
для студентів денної та заочної форми навчання за напрямком
підготовки 6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи в
агропромисловому комплексі»

*Ухвалено
на засіданні кафедри
"ЕТС та ЕМ"
Протокол № 15 від 28.05.2014 р.*

Кіровоград 2014

Методичні вказівки до курсової роботи з навчальної дисципліни «Апарати керування та захисту» для студентів денної та заочної форми навчання за напрямком 6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі/ Укл.: Р.В. Телюта – Кіровоград: КНТУ, 2014 – 84 с.

Укладачі: ст. викл., к.т.н. Р.В. Телюта.

Рецензент проф., д.т.н. С.І. Осадчий.

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Мета і задачі курсової роботи	6
2 Структура та зміст курсової роботи	6
3 Методика розрахунку електромагніта	7
3.1 Загальна характеристика	8
3.2 Попередній розрахунок ядра електромагніта	10
3.3 Розробка конструкції електромагніта	16
3.4 Проектний розрахунок основних параметрів електромагніта	22
3.5 Знаходження проектних параметрів котушки	25
3.6 Розрахунок теплового режиму обмотки	30
3.7 Моделювання електромагніта в програмі ELCUT	33
3.8 Висновки	40
4 Спеціальне питання	41
4.1 Завдання для виконання спецпитання.....	41
4.2 Методичні рекомендації по виконанню спецпитання.....	50
Список літератури	79
Додаток А Структура курсової роботи	80
Додаток Б Оформлення титульної сторінки	81
Додаток В Бланк завдання на курсову роботу	82
Додаток Г Календарний план виконання курсової роботи.....	83

ВСТУП

Електроенергетика в нових ринкових умовах переходить на якісно новий рівень свого розвитку, відбуваються значні структурні перетворення у всіх галузях промисловості та енергетики, ґрунтовні зміни у відповідності до нових економічних умов. В першу чергу це стосується розвитку нових енергозберігаючих технологій при виробництві, розподілі та споживанні електричної енергії, вдосконаленні та модернізації технологічного енергетичного обладнання електричних станцій та підстанцій.

Одним з ключових напрямків в реалізації енергозберігаючих технологій, які визначають ефективність роботи як електроенергетики на всіх етапах виробництва, розподілу та споживання електричної енергії, так і інших галузей виробництва є розвиток галузі електроапаратобудування.

Виникає необхідність модернізації існуючих та розробка нових типів електричних апаратів на основі сучасних технологій, які забезпечили б більш ефективну роботу, підвищення рівня напруг та струмів, зменшення габаритів та маси, підвищення їх надійності, ресурсу та швидкодії. Ці вимоги ставляться тому, що переважна більшість електричних апаратів повинні досить ефективно працювати в сучасних автоматизованих та автоматичних системах керування складними технологічними процесами, агрегатами, машинами та обладнанням на електричних станціях, в електроенергетичних системах та мережах.

Різноманітність конструкцій електричних апаратів, призначення та принципів їх роботи, виконуваних ними функцій в електричних мережах та пристроях не дозволяють класифікувати їх за однією якоюсь ознакою. Серед електричних апаратів електромагніти знайшли широке застосування і як елемент приводу апаратів (контактори, пускачі, реле, автомати, вимикачі), і як пристрій, що створює тягову силу, наприклад в муфтах і гальмах.

Дисципліна «Апарати керування та захисту» відіграє важливу роль у підготовці фахівців з напрямку «Енергетика та електротехнічні системи в АПК» за професійним спрямуванням «Енергетика агропромислового виробництва». До навчального плану з курсу «Апарати керування та захисту» включено виконання курсової роботи «Розрахунок електромагніта постійного струму».

1. МЕТА І ЗАДАЧІ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Мета курсової роботи – вивчення, формування, систематизація, поглиблення та закріплення необхідних теоретичних знань, одержання практичних вмінь з навчальної дисципліни „ Апарати керування та захисту ”, розвиток творчих навичок самостійної роботи, опанування методикою дослідження і аналізу поставленого завдання.

Задачами виконання курсової роботи є: розрахунок ядра електромагніта; розробка конструкції електромагніта; проектний розрахунок основних параметрів електромагніта; знаходження проектних параметрів котушки; розрахунок теплового режиму обмотки; створення моделі електромагніта за допомогою прикладних програм на персональному комп'ютері.

2. СТРУКТУРА Й ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Перед початком виконання роботи необхідно вивчити загальні вимоги щодо обсягу, структури, змісту, оформлення і захисту курсової роботи (додаток А).

Курсова робота складається із розрахунково-пояснювальної записки й комплексу креслень.

Вибір завдання на курсову роботу здійснюють за алфавітним списком у журналі або по двом останнім цифрам залікової книжки студента. Завдання містить варіанти типу електромагніта, значення критичного проміжку δ_0 , см, критичної сили F_0 , кг, напруги постійного струму U , В та режимом роботи електромагніта.

Курсову роботу, що подає студент до захисту, містить у собі пояснювальну записку й креслення, виконані за індивідуальним завданням у повному обсязі й оформлені відповідно до вимог [1].

Робота має містити наступний матеріал:

- 1) завдання;
- 2) пояснювальну записку;
- 3) графічну частину.

2.1. Пояснювальна записка

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки 20-40 аркушів форматом А4.

Пояснювальна записка повинна включати в зазначеній нижче послідовності: титульну сторінку (оформляють на лицьовому боці обкладинки) (додаток Б); завдання щодо підготовки курсової роботи (додаток В); зміст; вступ; основну частину; висновки; список

використаної літератури; додатки.

Титульну сторінку, зміст і список використаної літератури оформляють відповідно до вимог [1].

Завдання містить у собі типовий бланк із основною вихідною інформацією (тип електромагніта, значення критичного проміжку δ_0 , см, критичної сили F_0 , кг, напруги постійного струму U , В та режимом роботи електромагніта).

Рекомендується наступна структура пояснювальної записки до курсового проекту:

Вступ

1. Проектування електромагніта.
2. Попередній розрахунок ядра електромагніта.
3. Розробка конструкції електромагніта.
4. Проектний розрахунок основних параметрів електромагніта.
5. Знаходження проектних параметрів котушки.
6. Розрахунок теплового режиму обмотки.
7. Комп'ютерне моделювання електромагніта.

Висновки.

Література.

2.2. Графічна частина

Графічний частина курсової роботи: креслення електромагніта на аркуші формату А2 (А1) і картина магнітного поля електромагніта, отримана при моделюванні на персональному комп'ютері.

3. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМАГНІТА

Для розрахунку вибрано найбільш широко розповсюджений елемент електричних апаратів, який забезпечує їх надійне функціонування – електромагніт. Враховуючи достатню складність і об'ємність розрахунку магнітних кіл, пропонується інженерний метод розрахунку [2,3].

Запропонована методика на базі простих співвідношень для розрахунку магнітних кіл дозволяє отримати оптимальні завершальні результати шляхом введення ряду експериментально заданих параметрів.

Розробка електромагніта передбачає виконання попереднього розрахунку, який дозволяє знайти основні конструктивні параметри, і завершального проектного розрахунку, а також комп'ютерне

моделювання магнітної системи електромагніта з метою перевірки отриманих даних.

Послідовність і методику розробки електромагніта, викладену в даних методичних вказівках, слід розглядати як рекомендовану, яка може бути скоригована розробником відповідно до набутого досвіду і нових методик розрахунку.

3.1 Загальна характеристика

Незважаючи на простоту конструкції ЕМ, повністю врахувати всі фактори, що впливають на його роботу в аналітичній формі, придатній для інженерних розрахунків, надто складно. Це зумовлено складністю електромагнітних і теплових процесів. Пропонована для використання в курсовій роботі методика розрахунку ЕМ базується на використанні спрощених розрахункових формул, які забезпечують достатню точність за рахунок використання встановлених експериментально коректувальних і конструктивних коефіцієнтів. Рекомендовані значення цих коефіцієнтів слід вважати не безумовно точними, а навпаки, такими, що потребують подальшої оптимізації.

Конструкція ЕМ в основному залежить від умови забезпечення необхідної електромагнітної сили при певних умовах нагріву й охолодження котушки, тобто залежить від розмірів магнітопроводу, наявності робочих і неробочих проміжків, розмірів і обмоткових даних котушки. Інші елементи конструкції впливають на роботу ЕМ меншою мірою.

Введемо деякі характерні для прийнятої методики розрахунку поняття:

- *ядро ЕМ* – частина ЕМ, що складається з втягуючої котушки, обхваченої нею частини магнітопроводу і полюсного наконечника;
- *визначальний розмір ядра ЕМ* – діаметр d_{oc} осердя ЕМ;
- *розрахунок ядра ЕМ* – знаходження розміру ядра й обмоткових даних котушки.

Передбачається три етапи розрахунку ЕМ:

1. *Попередній розрахунок* з використанням спрощених співвідношень для знаходження приблизних розмірів магнітопроводу, котушки, перерізу і числа витків обмотки.
2. *Розробка* за даними попереднього розрахунку *конструкції ЕМ* із застосуванням ряду емпіричних коефіцієнтів і параметрів.
3. *Проектний розрахунок ЕМ*, який передбачає остаточне уточнення отриманих у попередньому розрахунку параметрів, геометричних розмірів, обмоткових даних, оцінку відповідності температурних і енергетичних параметрів існуючим нормам.

Розрахунку електромагніта повинен передувати аналіз кінематичної схеми механізму, з якою електромагніт з'єднаний, для встановлення результуючих характеристик протидіючих сил чи моментів, які необхідно подолати при русі якоря.

У результаті повинен бути встановлений проміжок за ходом якоря, при якому електромагніту доводиться розвивати найбільшу силу для подолання протидіючої сили навантаження F_n . Такий проміжок δ_0 прийнято називати критичним, а відповідну електромагнітну силу F_0 – критичною силою. Для забезпечення надійної роботи критична сила повинна дещо перевищувати відповідну цьому проміжку протидіючу силу:

$$F_0 = kF_n ,$$

де $k = 1,2...1,5$ – коефіцієнт запасу, який беруть для найгірших умов експлуатації (понижена напруга при нагрітій котушці).

Значення критичної сили і критичного проміжку є основними вихідними даними для розрахунку ЕМ.

Крім того необхідно знати режим роботи ЕМ (довготривалий, короткочасний), вид струму, напругу U , частоту f , тип якоря ЕМ (прямоходовий, поворотний, обертовий), виконання котушки (струму, напруги; намотані на каркас, трубу, осердя, без каркасу та ін.).

У процесі виконання курсової роботи необхідно виконати наступний обсяг розрахунків:

- 1) установити основні розміри ЕМ;
- 2) розрахувати обмоткові дані котушки;
- 3) розробити креслення електромагніта;
- 4) установити максимальну температуру по перерізу котушки ЕМ;
- 5) оцінити потужність, яку використовує ЕМ у робочому режимі, затрату активних обмоткових матеріалів, вагу ЕМ;
- 6) побудувати модель ЕМ на ПК і порівняти результати розрахунку вручну і за допомогою моделі.

3.2 Попередній розрахунок ядра електромагніта

3.2.1 Для проведення розрахунку необхідно задатися деякими параметрами і безрозмірними коефіцієнтами попереднього розрахунку:

а) вибрати виконання котушки, клас її ізоляції та відповідно до цього допустиме перевищення температури ϑ_g котушки відносно температури навколишнього середовища (табл. 3.1);

Таблиця 3.1 Допустимі температури нагріву проводу обмотки

Характеристика ізоляції та технологія просочування	Температура, °C
Провід з бавовняною чи шовковою ізоляцією. Котушка без просочування	90
Провід з емалевою ізоляцією, паперові прокладки. Котушка без просочування	90
Провід з бавовняною ізоляцією, шовковою чи емалевою, паперові прокладки. Котушка просочена маслом чи лаком	105
Провід з емалевою ізоляцією. Котушка просочена нагрівостійкими речовинами	120
Провід зі скловолокнистою ізоляцією. Котушка просочена синтетичними смолами	190
Провід зі скловолокнистою ізоляцією. Котушка просочена речовинами підвищеної теплостійкості	155
Провід зі скловолокнистою ізоляцією. Котушка просочена кремнійорганічними смолами	180

б) при нормованій температурі навколишнього середовища $v_{nc} = 35^\circ\text{C}$ допустима температура котушки

$$v_g = \vartheta_g + v_{nc}.$$

3.2.2 Відповідно до прийнятих значень $\Delta\theta$ і θ знаходимо:

а) коефіцієнт тепловіддачі із зовнішньої поверхні котушки,

$$\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad [2,3]:$$

$$h = h_g = 9,3 \cdot 10^{-4} (1 + 0,0059\theta_g),$$

б) питомий опір проводу нагрітої котушки:

$$\rho = \rho_g = \rho_0 (1 + \alpha_0 \theta_g),$$

де $\rho_0 = 0,0162 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ – питомий опір мідного провідника при 0°C ;

$\alpha = 0,00426 \text{ град}^{-1}$ – температурний коефіцієнт;

в) коефіцієнт теплообміну з внутрішньою поверхнею котушки

$$h_g = \alpha h,$$

де α_1 – коефіцієнт теплообміну між внутрішньою поверхнею котушки і осердям, який залежить від виконання котушки:

$\alpha_1 = 0$ – для котушок, які мають ізоляційний каркас, що мало проводить тепло;

$\alpha_1 = 0,9$ – для котушки без каркасу, з бандажем;

$\alpha_1 = 1,7$ – для котушки, намотаної на трубу;

$\alpha_1 = 2,7$ – для котушки, намотаної на осердя.

3.2.3 Використовуючи накопичений досвід проектування, необхідно за таблицею 3.2 вибрати значення безрозмірних конструктивних коефіцієнтів

$$n = \frac{A}{d_{oc}},$$

$$\tau = \frac{d_n}{d_{oc}},$$

$$\beta = \frac{m}{n}.$$

де A – розрахункова ширина котушки без ізоляційних прокладок;

d_{oc} – розрахунковий діаметр осердя ЕМ;

d_n – розрахунковий діаметр полюсного наконечника.

3.2.4 Обчислити попереднє значення коефіцієнта заповнення вікна котушки металом проводу

$$f_3 = \frac{S_m W}{HA},$$

де S_m – розрахункова площа перерізу проводу обмотки, см^2 ;

W – розрахункове число витків обмотки;

H – розрахункова висота котушки без бокових ізоляційних кілець, см .

Коефіцієнт заповнення $f_3 = 0,4 \dots 0,6$ залежно від марки проводу і способу його укладання. Далі потребує уточнення.

Задаємося можливим зниженням напруги у мережі $X = 0,85$.

Таблиця 3.2 Рекомендовані значення конструктивних коефіцієнтів

Виконання ЕМ	Постійний струм		Змінний струм
	без полюсного наконечника	з полюсним наконечником	
n	0,4 – 0,6	0,7 – 0,9	0,5 – 0,8
β	2,0 – 8,0	4,0 – 7,0	2,0 – 4,0
τ	1,0	1,6 – 2,0	0,8 – 2,0

Задаємося можливим зниженням магнітного потенціалу в сталі та в неробочих проміжках, тобто зниженням магніторушійної сили (МРС) (IW)':

$$\varphi = \frac{(IW)'_0}{(IW)'} = 0,85..0,7,$$

де $(IW)'_0$ – MPC, що припадає на основний робочий проміжок.

У раціонально побудованих конструкціях спад МДС у сталі магнітопроводу складає 10 – 20%, а в неробочих повітряних проміжках 5 – 10% від повної MPC котушки.

3.2.5 Розрахунок ядра електромагніта:

а) розрахункове значення індукції у повітряному проміжку можна отримати [8], використовуючи безрозмірні конструктивні коефіцієнти для конкретної системи ЕМ:

$$B_0 = \frac{a \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt[5]{C_1}}{\tau} 10 \sqrt{\frac{(bF_0)^3}{\delta_0^4}},$$

де a і b – коефіцієнти, що враховують особливості системи ЕМ:

для прямоходового $a = 4$, $b = 2$;

для поворотного $a = 4,8$, $b = 1$;

C_1 – параметр, який знаходиться як:

$$C_1 = \frac{2 \cdot 10^3 \rho_g (1+n)}{\phi^2 X^2 f_3 \tau^2 m^2 n (1+2n+\alpha) h \cdot \vartheta_g}. \quad (3.1)$$

Значення індукції B_δ , як правило, знаходиться в межах $(0,6..0,8) \cdot 10^{-4}$ Вб/см²;

б) у зв'язку з наявністю полюсного наконечника відбувається „випинання” магнітного потоку в проміжку (силові лінії поля виходять не тільки з горизонтальної площини полюсного наконечника, але і з його боків). Значення коефіцієнта „випинання”, який враховує це явище для ЕМ даного типу, знаходиться за формулою:

$$\epsilon^2 = 1 + \frac{2,08}{\tau \cdot \chi}, \quad (3.2)$$

де χ – параметр конструкції ЕМ.

$$\chi = \frac{d_0}{\delta_0}$$

Визначальний розмір ядра електромагніта можна знайти [8] із залежності:

$$\frac{F_0}{\delta_0^3} = \frac{2\varepsilon^2\chi^5}{C_1}. \quad (3.3)$$

Оскільки загальний розв’язок (3.2) і (3.3) достатньо громіздкий, необхідно використати графоаналітичний метод, для чого провести розрахунок і, задаючись довільними значеннями χ , побудувати графік залежності:

$$f(\chi) = \frac{2\varepsilon^2\chi^5}{C_1} = 2\left(\chi + \frac{2,08}{\tau}\right)\frac{\chi^4}{C_1}. \quad (3.4)$$

Результати розрахунку звести в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 Таблиця точок графіка $f(\chi)$

χ										
$f(\chi)$										
$\frac{F_0}{\delta_0^3}$										

За розрахованими даними побудувати залежність (3.4) і на отриманій кривій, інтерполюючи, знайти значення χ , яке відповідає заданій величині F_0 / δ_0^3 , що дозволить отримати визначальний розмір ядра ЕМ d_{oc} , см:

$$d_{oc} = \delta_0 \cdot \chi.$$

3.2.6 Визначення основних параметрів ядра ЕМ.

1) габарити ядра ЕМ:

ширина котушки $A = n \cdot d_{oc}$;
 висота котушки $H = m \cdot d_{oc}$;
 діаметр полюсного наконечника $d_n = \tau \cdot d_{oc}$;

2) параметри котушки.

Необхідна МРС

$$IW = \frac{a_1 \cdot 10^3}{\phi X \tau} d_{oc} \sqrt{d_{oc} / C_1}, \quad (3.5)$$

де a_1 – коефіцієнт:

для прямоходового $a_1 = 9$;

для поворотного $a_1 = 4,5$.

Переріз проводу обмотки, см^2 :

$$S_m = \frac{b_1 \rho_g (1+n)}{U \phi X \tau} d_{oc}^2 \sqrt{\frac{d_{oc}}{C_1}}, \quad (3.6)$$

де b_1 – коефіцієнт:

для прямоходового $b_1 = 2,82$;

для поворотного $b_1 = 1,41$.

Діаметр проводу (розрахунковий), см :

$$d = \sqrt{\frac{4S_m}{\pi}}.$$

Вибирають найближчий розмір проводу (додаток Е): діаметр по міді d , діаметр по ізоляції (фактичний) d'_1 , переріз по міді S'_m (фактичний).

Число витків:

$$W = \frac{a_2 f_3 AH}{S'_m}, \quad (3.7)$$

де a_2 – кількість котушок:

для прямоходового $a_2 = 2$;

поворотного $a_2 = 1$.

Результати попереднього розрахунку слід звести в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 Результати попереднього розрахунку ЕМ (тип)

Основні розрахункові параметри	Одиниці виміру	Значення
Критична сила F_o	кг	
Критичний проміжок δ_o	см	
Визначальний розмір ядра d_{oc}	см	
Індукція в повітряному проміжку B_o	Вб/см ²	
n		
β		
τ		
m		
Магніторушійна сила IW	Ампервитки	
Виконання ізоляції котушки		
Виконання котушки		
Діаметр проводу d	см	
Число витків W	витки	

3.3 Розробка конструкції електромагніта

Розробка конструкції ЕМ виконується за даними попереднього розрахунку відповідно до вимог технологічності конструкції, надійності її експлуатації. У процесі ескізної розробки уточнюються геометричні розміри магнітопроводу і котушки з урахуванням заокруглення до конструктивних розмірів і використання існуючих сортиментів на матеріали.

3.3.1 Вихідними даними проектного розрахунку є результати попереднього розрахунку ЕМ: критична сила, критичний проміжок, діаметр осердя, переріз металу проводу, МРС, коефіцієнти m , n , τ , β і т.д.

Рекомендовано наступний порядок подальшого розрахунку:

- 1) уточнити d_o у результаті округлення отриманого раніше d_{oc} до конструктивного розміру;
- 2) узяти конструктивно розміри висоти полюсного наконечника Δ_1 і відстань від скоби магнітопроводу до котушки (чи між двома

катушками) Δ_2 , яка визначається зручністю заміни катушки, але не менша 5 мм;

3) уточнити висоту намотування катушки, см

$$H' = m \cdot d'_{oc} ,$$

висоту катушки, см

$$H'_k = H' + 2\Delta_4 ,$$

де $\Delta_4 = 1,5 \dots 2,5$ мм,

ширину намотування, см

$$A' = n \cdot d'_{oc} ,$$

ширину катушки, см

$$A'_k = A + \Delta_5 + \Delta_6 ,$$

де Δ_4 , Δ_5 , Δ_6 – конструктивні коефіцієнти (рис. 3.1), які залежать від способу ізоляції та товщини корпусу катушки (1,5...2,5 мм);

4) установити діаметр полюсного наконечника, см

$$d'_n = \tau \cdot d'_{oc} ,$$

зовнішній і внутрішній діаметри катушки, см

$$D'_3 = d'_{oc} + 2A'_k ,$$

$$D'_6 = d'_{oc} .$$

3.3.2 За отриманими у попередньому пункті розмірами і виконанням катушки визначити площу поверхні охолодження з урахуванням можливої різниці тепловіддачі на її ділянках:

– бокова зовнішня поверхня, см²

$$S_{\theta 3} = \pi D'_3 H' ,$$

- бокова внутрішня поверхня, см²

$$S_{\partial\partial} = \pi D'_6 H',$$

- торцева поверхня, см²

$$S_T = 2(D'_3 - D'_6)l_\partial,$$

де l_∂ – довжина середнього витка.

$$l_\partial = \pi \frac{D'_3 - D'_6}{2}$$

2.3.2 Визначення конструктивних параметрів магнітопроводу

Ширина магнітопроводу B якоря не повинна значно перевищувати зовнішній діаметр котушок:

$$B = D'_3 + 2\Delta_3,$$

де $\Delta_3 = 2...5$ мм.

Переріз скоби магнітопроводу поворотного ЕМ

$$S_a \geq S'_c = \frac{\pi(d'_{oc})^2}{4}.$$

Товщина скоби магнітопроводу, см

$$a \geq \frac{S_a}{B},$$

але не менше 4 мм.

Переріз якоря магнітопроводу може бути взятий трохи меншим за еквівалентний переріз основного проміжку, см²

$$S_{як} = (0,7...1,0)S'_{не},$$

де S'_{ne} – еквівалентний переріз полюсного наконечника.

$$S'_{ne} = \frac{\pi(\tau \cdot d'_{oc})^2}{4},$$

Висота якоря визначається його перерізом і шириною, см

$$e = \frac{S_{як}}{B},$$

але не менше 5 мм з міркувань його механічної міцності.

Висота осердя H'_{oc} визначається висотою котушки $H'_{к}$. За відсутності полюсного наконечника виступаючий кінець осердя беруть рівним $\Delta = 2...5$ мм.

3.3.3 За прийнятими розмірами магнітопроводу знайти середню довжину силових ліній якоря $l_{як}$ і ярма $l_{яр}$ (рис. 3.1).

Уточнити розміри проміжків у місцях нерозривних деталей окремих ділянок магнітопроводу, тобто неробочих проміжків у місцях з'єднання полюсного наконечника й осердя ($\delta_{нр1}$), осердя і скоби ($\delta_{нр2}$). Вказані проміжки визначають, виходячи із наявності нещільного прилягання поверхонь сталі ($2 \times 0,005$ см), наявності антикорозійних покриттів ($2 \times 0,0015$ см), немагнітних прокладок (0,03 см), і беруть у межах (0,015–0,05) см.

Для поворотних систем знайти середній проміжок в області розташування точки обертання якоря при критичній величині основного проміжку:

$$\delta_a = \frac{a' \delta_o}{2l_c},$$

де

$$l_c = a' + \Delta_2 + A' + 0,5d'_{oc}.$$

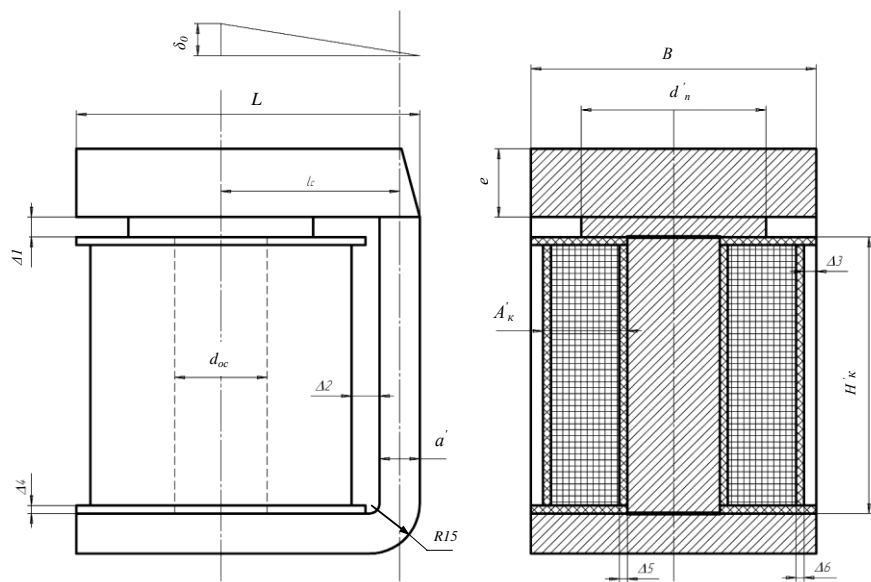
Для прямоходових систем $\delta_a = \delta_o$.

Результати розрахунку конструктивних параметрів ЕМ необхідно звести в табл. 3.5.

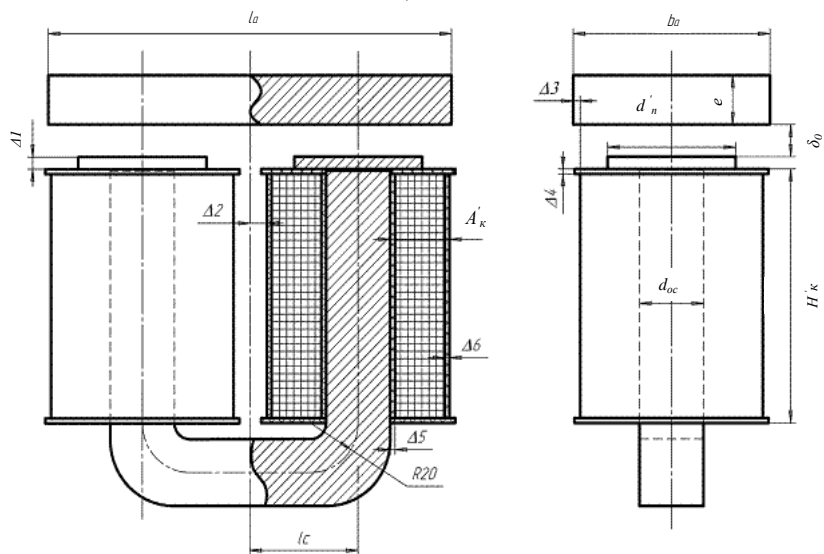
За прийнятими розмірами ЕМ (табл. 3.5) необхідно виконати робоче креслення у масштабі 1:1 зі специфікацією деталей. Приклад креслень наведені на рисунку 3.1.

Таблиця 3.5 Результати розрахунку конструктивних параметрів ЕМ (тип)

Основні розрахункові параметри	Одиниці виміру	Значення
Критична сила F_0	кг	
Критичний проміжок δ_o	см	
Визначальний розмір ядра ЕМ d_{oc}	см	
Висота обмотки H'	см	
Висота котушки H'_k	см	
Ширина обмотки A	см	
Ширина котушки A'_k	см	
Зовнішній діаметр котушки D'_z	см	
Внутрішній діаметр котушки D'_v	см	
Бокова зовнішня поверхня $S_{бз}$	см ²	
Бокова внутрішня поверхня $S_{бв}$	см ²	
Ширина скоби магнітопроводу B	см	
Товщина скоби a'	см	
Товщина якоря e	см	
Переріз скоби S_a	см ²	
Переріз якоря $S_{як}$	см ²	
і т.д.		



a)



б)

Рисунок 3.1 Ескізи електромагнітів:
а) поворотний ЕМ; б) прямоходовий ЕМ

3.4 Проектний розрахунок основних параметрів електромагніта

3.4.1 За значенням критичної сили F_0 , проміжком δ_o і прийнятим розміром d'_{oc} визначають уточнені значення індукції в проміжку, Вб/см²

$$B'_0 = a_3 \cdot 10^{-4} \frac{\sqrt{P_0}}{\tau \cdot \varepsilon' \cdot d'_{oc}},$$

де a_3 – коефіцієнт: для прямоходового $a_3 = 0,396$;

поворотного $a_3 = 0,56$;

ε – уточнене значення коефіцієнта „випинання”, знайдене для критичного проміжку

$$\varepsilon' = \sqrt{1 + 2,08 / (\tau \cdot \chi')},$$

де

$$\chi' = d'_{oc} / \delta_0.$$

Отримані результати порівняти з даними попереднього розрахунку і зробити висновок.

3.4.2 Для подальших розрахунків необхідно знати, яка частина магнітного потоку припадає на потік розсіювання.

Магнітний потік розсіювання оцінюють за допомогою коефіцієнта розсіювання σ при критичному положенні якоря. Для цього спершу необхідно визначити провідність основного повітряного проміжку, Гн:

$$G_0 = \frac{\mu_0 \pi (d'_o)^2}{4\delta_0} = \frac{\mu_0 \pi (\varepsilon' \cdot \tau \cdot d'_{oc})^2}{4\delta_0}, \quad (3.8)$$

де d_o – фіктивний діаметр робочого повітряного проміжку з урахуванням полюсного наконечника і випинання.

$$d_o = \varepsilon' \cdot \tau \cdot d'_{oc}$$

Далі визначаємо провідність неробочих повітряних проміжків Δ_{np} , Гн

$$G_{np} = \frac{\mu_0 \pi (d'_{oc})^2}{4\Delta_{np}}. \quad (3.9)$$

Проміжок Δ_{np} знаходиться за допомогою ескізу ЕМ і складається з немагнітної прокладки (0,03 см), нещільностей прилягання за рахунок нерівностей обробки поверхні сталі (0,005 см на з'єднання елементів магнітопроводу) і наявності антикорозійного покриття (0,0015 см). Слід враховувати два неробочих проміжки.

При знаходженні сумарної провідності робочих і неробочих проміжків для прямоходових ЕМ користуються співвідношенням (з урахуванням двох послідовно працюючих робочих проміжків), Гн

$$\Lambda = \frac{0,5G_0G_{np}}{0,5G_0 + G_{np}}. \quad (3.10)$$

Для поворотних ЕМ необхідно врахувати додаткову провідність середнього проміжку в області розташування точки обертання якоря δ_a , Гн

$$G_a = \frac{\mu_0 S_a}{\delta_a} = \frac{2\mu_0 B' l_c}{\delta_0}. \quad (3.11)$$

Тоді повна провідність повітряних проміжків визначається за формулою:

$$G = \frac{G_0 G_{np} G_a}{G_0 G_{np} + G_0 G_a + G_{np} G_a} = \frac{1}{1/G_0 + 1/G_{np} + 1/G_a}. \quad (3.12)$$

Зведена за магнітним потоком провідність визначається як

$$G_y = \frac{gH'_{\kappa}}{2}, \quad (3.13)$$

де H'_k – повна висота котушки;

g – питома провідність втрат:

$$g = \frac{a_4 \pi \mu_0}{\ln \left[1 + \frac{\sqrt{l^2 - b_4 (d'_{oc})^2}}{b_4 d'_{oc}} \right]}, \quad (3.14)$$

де a_4, b_4 – коефіцієнти:

для прямоходового ЕМ $a_4 = b_4 = 1$;

для поворотного ЕМ $a_4 = 2, b_4 = 0,5$;

l – відстань між осями котушки чи між віссю котушки і віссю ярма.

Коефіцієнт розсіювання для критичного положення якоря:

$$\sigma = \frac{G + G_y}{G}. \quad (3.15)$$

3.4.3 Визначення індукції в сталі осердя, Вб/см^2 :

$$B'_{oc} = B_0 \sigma (\epsilon' \tau')^2. \quad (3.16)$$

Отримане значення індукції не повинне перевищувати межу насичення сталі магнітопроводу (рис. 3.2).

Уточнене значення індукції в сталі якоря:

$$B'_{як} = B_0 \frac{S_0}{S_{як}}, \quad (3.17)$$

де S_0 – еквівалентний переріз основного проміжку.

$$S_0 = 0,25\pi (\epsilon' \tau' d'_{oc})^2$$

3.4.4 Визначення магніторушійної сили котушки ЕМ, необхідної для проведення потоку: в робочих проміжках

$$(IW)'_0 = a_2 \delta_0 \frac{B'_0}{\mu_0}, \quad (3.18)$$

де N – число робочих повітряних проміжків;
неробочих проміжках

$$F_{mmw} = \Delta_{mm} \frac{B'_\delta}{\mu_0}. \quad (3.19)$$

Необхідна МРС для проведення потоку в сталі розраховується за знайденими значеннями індукції B'_{oc} та $B'_{як}$ і визначеною за ескізом ЕМ довжиною ділянки осердя l_{oc} і якоря $l_{як}$ (з урахуванням наявності полюсних наконечників). При цьому слід використовувати криві намагнічування прийнятого матеріалу магнітопроводу (рис. 3.2) для знаходження напруженості поля, яка відповідає індукції в металі.

МРС в сталі:

$$(IW)'_{ст} = H_{oc} l_{яp} + H_{як} l_{як}. \quad (3.20)$$

Повне значення МРС котушки:

$$(IW)' = (IW)'_0 + (IW)'_{np} + (IW)'_{ст}. \quad (3.21)$$

Доцільно порівняти МРС, отриману в результаті проектного розрахунку, із МРС, що була отримана в попередньому розрахунку, і зробити висновок.

3.5 Знаходження проектних параметрів котушки

Порівняння МРС проектного і попереднього розрахунків дозволить уточнити середнє число витків котушки ЕМ.

3.5.1 Визначення загального перерізу міді проводу обмотки:

$$S'_m = S_m \frac{(IW)'}{(IW)}. \quad (3.22)$$

Діаметр проводу обмотки

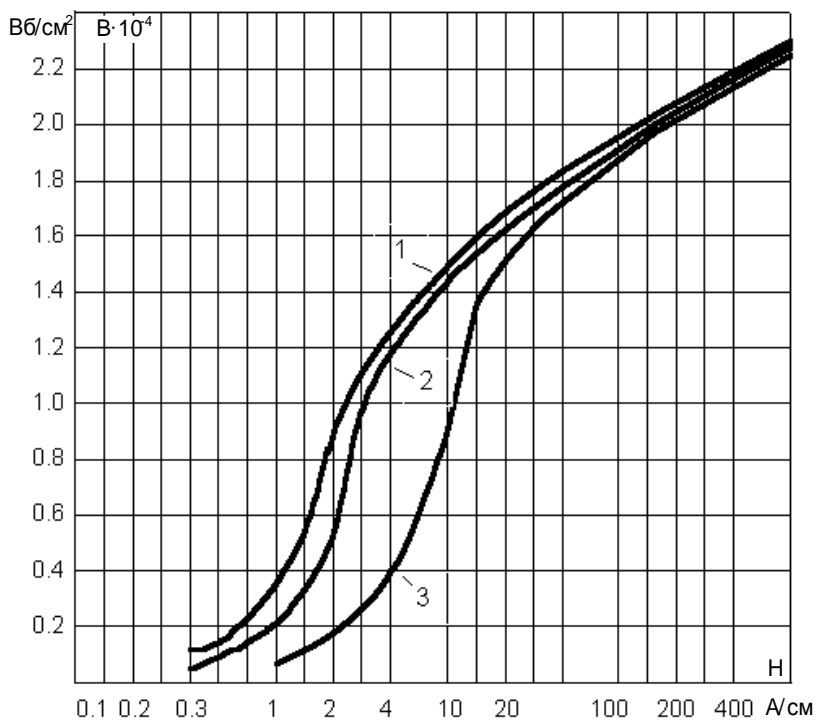


Рисунок 3.2 Криві намагнічування магнітних матеріалів:
 1 – сталь низьковуглецева; 2 – сталь конструкційна;
 3 – сталь якісна конструкційна

$$d' = \sqrt{4S'_M/\pi} . \quad (3.23)$$

Далі необхідно підібрати найближчій за ГОСТ (табл. 3.6 і табл. 3.7) діаметр проводу без ізоляції d' , визначити діаметр проводу з ізоляцією d'_1 і переріз проводу S'_{np} .

Таблиця 3.6 Обмотувальний провід круглий (за ГОСТ 6324-52)

Діаметр, мм	Переріз, мм ²	Вага 1км, кг	Діаметр, мм	Переріз, мм ²	Вага 1км, кг	Діаметр, мм	Переріз, мм ²	Вага 1км, кг
0,05	0,00196	0,0175	0,47	0,1735	1,542	1,30	1,327	11,80
0,06	0,00283	0,0252	0,49	0,1886	1,676	1,35	1,431	12,73
0,07	0,00385	0,0342	0,51	0,2043	1,816	1,40	1,539	13,69
0,08	0,00503	0,0447	0,53	0,221	1,961	1,45	1,651	14,68
0,09	0,00636	0,0566	0,55	0,238	2,11	1,50	1,767	15,71
0,10	0,00785	0,0698	0,57	0,255	2,27	1,56	1,910	16,99
0,11	0,00950	0,0845	0,59	0,273	2,43	1,62	2,060	18,32
0,12	0,01131	0,1005	0,62	0,302	2,68	1,68	2,217	19,71
0,13	0,01327	0,1180	0,64	0,322	2,86	1,74	2,380	21,1
0,14	0,01539	0,1368	0,67	0,353	3,13	1,81	2,570	22,9
0,15	0,01767	0,1571	0,69	0,374	3,32	1,88	2,780	24,7
0,16	0,0201	0,1788	0,72	0,407	3,62	1,95	2,990	26,5
0,17	0,0227	0,202	0,74	0,430	3,82	2,02	3,205	28,5
0,18	0,0255	0,226	0,77	0,466	4,14	2,10	3,460	30,8
0,19	0,0284	0,252	0,80	0,503	4,47	2,26	4,010	35,7
0,20	0,0314	0,279	0,83	0,541	4,81	2,44	4,680	41,6
0,21	0,0346	0,308	0,86	0,581	5,16	2,63	5,430	48,3
0,23	0,0415	0,369	0,90	0,636	5,66	2,83	6,290	55,9
0,25	0,0491	0,436	0,93	0,679	6,04	3,05	7,310	65,0
0,27	0,0573	0,509	0,96	0,724	6,43	3,28	8,450	75,1
0,29	0,0661	0,587	1,00	0,785	6,98	3,53	9,790	87,0
0,31	0,0755	0,671	1,04	0,849	7,55	3,80	11,34	100,0
0,33	0,0855	0,760	1,08	0,916	8,14	4,10	13,20	117,4
0,35	0,0962	0,855	1,12	0,985	8,75	4,50	15,90	141,4
0,38	0,1134	1,008	1,16	1,057	9,40	4,80	18,10	160,9
0,41	0,1320	1,173	1,20	1,131	10,05	5,20	21,20	188,8
0,44	0,1521	1,352	1,25	1,227	10,91			

Таблиця 3.7 Товщина ізоляції для різних марок обмотувальних проводів

Марка проводу	Діаметри круглих проводів										
	0,05 - 0,09	0,1 - 0,19	0,2 - 0,25	0,27 - 0,29	0,31 - 0,35	0,38 - 0,49	0,51 - 0,69	0,72 - 0,96	1 - 1,45	1,5 - 2,1	1,26 - 5,2
ПЕЛ	0,015	0,020	0,025	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	–
ПЕЛУ	–	0,035	0,04	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,1	0,1	–
ПЕВ-1	0,025	0,010	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,7	0,09	0,1

Примітка. Усі розміри вказано у міліметрах.

Визначити коефіцієнт заповнення f_{zi} вікна котушки для ідеального шахового укладання проводу f_{ui} .

$$f_{zi} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left(\frac{d}{d_1} \right)^2. \quad (3.24)$$

Ураховуючи нерівномірне укладення проводів при намотуванні, виконаному автоматом ($k_1 = 0,9$), необхідно знайти реальний коефіцієнт заповнення:

$$f'_z = k_y f_{zi}. \quad (3.25)$$

3.5.2 Уточнення повного проектного числа витків:

$$W' = \frac{a_2 f'_z A' H'}{S'_M}, \quad (3.26)$$

де N – кількість котушок.

3.5.3 Опір однієї котушки, віднесений до 0°C :

$$R_0 = \frac{10^{-4} \rho_0 \pi D_{cp}}{a_2 S'_M} w, \quad (3.27)$$

де $D_{cp} = \frac{D'_3 + D'_6}{2}$ – середній діаметр котушки;

ρ_0 – питомий опір міді при 0°C , який становить $0,0162 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Використовувана потужність однієї котушки:

$$P_0 = \frac{U^2}{N^2 R'_0}. \quad (3.28)$$

Питомі втрати в одиниці об'єму котушки, $\text{Вт}/\text{см}^3$:

$$q_0 = \frac{P_0}{V}, \quad (3.29)$$

де $V = \pi D_{cp} A' H'$ – об'єм обмотки, см^3 .

3.5.4 Масогабаритні показники.

Вага сталі магнітопроводу, кг :

$$Q_{ст} = \gamma_{ст} V_{ст},$$

де $\gamma_{ст} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{см}^3$ – питома вага сталі;

$V_{ст}$ – об'єм сталі магнітопроводу, см^3 (знаходять за робочим кресленням).

Вага обмотувального проводу, кг :

$$Q_{пр} = gL,$$

де g – розрахункова маса 1 м проводу, $\text{кг}/\text{м}$
 ($\gamma_{Cu} \approx 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}$);

L – довжина обмотувального проводу, м.

$$L = \pi D_{cp} W \cdot 10^{-2}$$

Вага всього ЕМ:

$$Q = Q_{ст} + Q_{пр}.$$

3.6 Розрахунок теплового режиму обмотки

3.6.1 Тепловий режим обмотки залежить від значного числа конструктивних факторів і фізичних властивостей матеріалів, використовуваних у обмотці ЕМ: способу намотування, товщини ізоляції δ проводу, його матеріалу, наявності ізоляційних прокладок Δ , розмірів заповненого повітрям (лаком) простору δ_1 обмотки та ін. Розташування цих елементів в обмотці можна проілюструвати еквівалентною картиною, наведеною на рисунку 3.3. Для кожного елементу обмотки характерне певне значення теплоємності λ , отримане експериментально і наведене в таблиці 3.8.

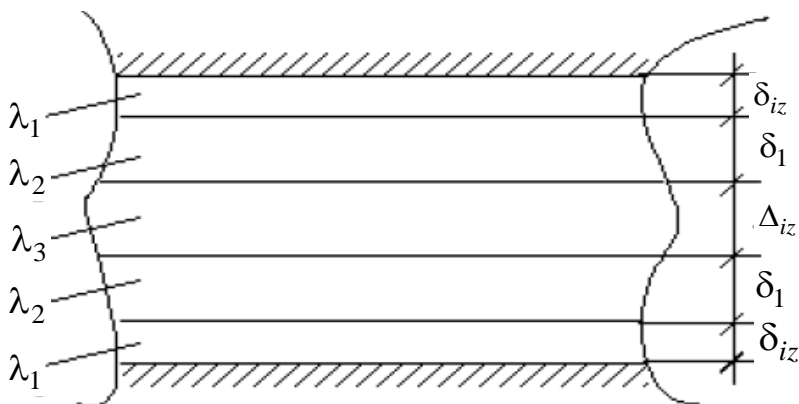


Рисунок 3.3 Еквівалентна схема розташування елементів ізоляції в обмотці

Зведене значення коефіцієнта теплопровідності для ізоляції усієї котушки, $\text{Вт}/(\text{см} \cdot ^\circ \text{C})$

$$\lambda_n = \frac{2\delta + 2i + \Delta}{2\delta/\lambda_1 + 2i/\lambda_2 + \Delta/\lambda_3}, \quad (3.30)$$

де $2\delta = d_1 - d$ – товщина ізоляції проводу;

Δ – товщина прокладки;

$2i$ – еквівалентна товщина ділянки обмотки, заповненої повітрям чи лаком (компаундом), яка визначається способом

намотування котушки (рядове, шахове) і становить $(0,85 - 0,95) \cdot 10^{-3} \text{ см}$.

Таблиця 3.8 Рекомендовані значення коефіцієнтів теплопровідності

Виконання котушки	Коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{см} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 10^{-3}$		
	без просочування	просочування лаком	компаундування
λ_1	(0,69 – 0,71)	(1,15 – 1,25)	1,34
λ_2	(0,25 – 0,3)	(1,4 – 2,2)	(1,4 – 1,6)
λ_3	(0,5 – 0,8)	(1,25 – 1,3)	1,4

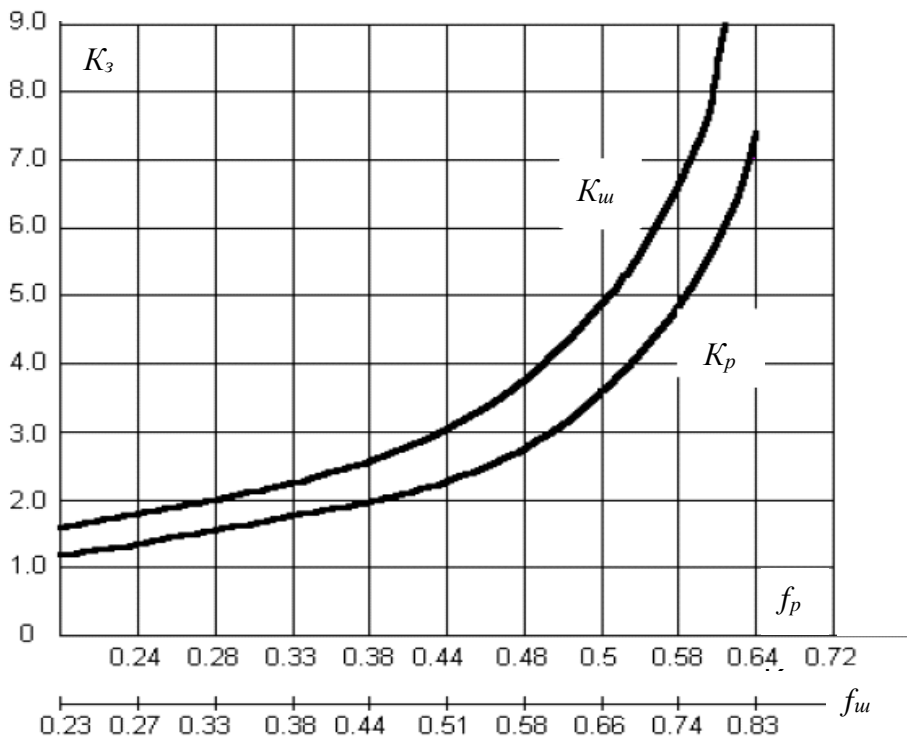


Рисунок 3.4 Графік залежності коректувального коефіцієнта $K_z = f(f_s)$

Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності для всієї котушки визначається як

$$\lambda = K_3 \lambda_n ,$$

де K_3 – експериментальний коефіцієнт, який характеризує технологію виконання обмотки і знаходиться за графіком на рис. 3.4.

3.6.2 Розрахунок температурного режиму обмотки

Визначальним параметром у роботі матеріалу котушки є максимальна температура нагріву її елементів, оскільки від її значення залежить термін придатності усіх ізоляційних матеріалів і зміна фізичних властивостей металу обмотки.

Визначення максимальної температури і температури поля всередині котушки в реальних умовах її нагріву в аналітичній формі достатньо складне і практично недоцільне для інженерних розрахунків. Тому використовуються спрощені методи. У цьому випадку середнє ϑ_{cp} і максимальне ϑ_{max} перевищення температури внутрішніх частин обмотки визначають відносно температури її поверхні v_n , уважаючи що джерела нагріву рівномірно розподілені по перерізу обмотки. Використовуючи емпірично отриману наближену формулу [8], температуру перегріву зовнішньої поверхні котушки відносно навколишнього середовища ($\theta_a = 35^\circ\text{C}$) можна визначити як

$$\vartheta_n = 84,5 \left[\sqrt{1 + 25,4 \left(P_0 / S_{ox} \right)} - 1 \right], \quad (2.31)$$

де $S_{ox} = \pi H' (D'_3 + \alpha_1 D'_6)$ – поверхня охолодження через зовнішню і внутрішню бокові поверхні (тепловим потоком через торці можна знехтувати через наявність каркасу на торцях).

Температура поверхні котушки

$$v_n = \vartheta_n + v_{nc} .$$

Отримане значення порівнюють з допустимим для вибраного типу ізоляції.

З достатньою точністю [2,3] можна вважати, що середня температура тіла для котушки на $1,5 - 3^\circ\text{C}$ буде перевищувати температуру її бокової поверхні, $^\circ\text{C}$

$$v_{cpq} = v_n + (1,5..3) .$$

Опір проводу котушки при цій температурі, Ом

$$R_{cp} = R_0 \left(1 + \alpha_0 v_{cpq} \right) . \quad (3.32)$$

Струм, що протікає по проводу нагрітої котушки:

$$I = \frac{U}{a_2 R_{cp}} . \quad (3.33)$$

3.6.2 Загальна МРС електромагніта при температурі v_{cpq}

$$(IW') = W' I . \quad (3.34)$$

Отримане значення порівнюють із значенням, отриманим за (3.21).

Потужність, що використовується ЕМ при роботі в нагрітому стані

$$P = U \cdot I . \quad (2.35)$$

Цим проектний розрахунок ЕМ закінчується.

3.7 Моделювання електромагніта в програмі ELCUT

Програма Elcut [7] призначена для виконання розрахунків параметрів різних полів (електромагнітних, теплових та ін.) за допомогою методу кінцевих елементів. Elcut дозволяє вирішувати наступні типи завдань (визначати параметри наступних типів полів):

1. Магнітостатика (у цьому завданні розраховується магнітне поле постійних магнітів, а також провідників з постійним струмом в середовищі із заданими магнітними властивостями);

2. Електростатика (у цьому завданні розраховується електричне поле зарядів, заданих значень потенціалу в середовищі із заданими електричними властивостями);

3. Розтікання струмів (у цьому завданні розраховується розподіл електричного потенціалу і струму в системах провідників);

4. Магнітне поле змінних струмів (розрахунок електричного і магнітного поля, збудженого прикладеними змінними синусоїдальними струмами або зовнішнім змінним полем);

5. Температурне поле (розрахунок температурного поля в середовищі із заданою теплопровідністю і граничними умовами першого - четвертого роду в статиці);

6. Нестационарна теплопередача (розрахунок динаміки теплових процесів);

7. Завдання теорії пружності.

Програма Elcut дозволяє також робити пов'язані розрахунки, тобто вичислені параметри в одному завданні передати в інше завдання в якості початкових даних. Для моделювання електротехнологічних процесів найбільший інтерес представляють пов'язані розрахунки в наступних поєднаннях: магнітне поле змінних та постійних струмів - температурне поле (нестационарна теплопередача); розтікання струмів - температурне поле (нестационарна теплопередача); магнітне поле змінних та постійних струмів - завдання теорії пружності.

Розрахунки робляться в двовимірній плоскій або осесиметричній постановці завдань. У плоскій постановці завдання геометрична модель є перерізом нескінченно протяжної в площину креслення системи, в вісесиметричній - половину осьового перерізу тіла обертання. При цьому вісь симетрії розташовується на лінії з координатами $r = 0$.

При використанні Elcut виконується робота з різними типами документів : завдання, геометричні моделі, бібліотеки властивостей матеріалів та ін. Кожен документ відкривається у своєму окремому вікні усередині головного вікна Elcut.

Одночасно можна відкрити будь-яке число будь-яких вікон. Переходячи з вікна у вікно, робимо перемикання з одного документу на інший. Тільки одно вікно в кожен момент часу є активним. Можна змінювати зміст активного документу, використовуючи позиції меню, розташованого вверху головного вікна Elcut. Зміст меню різний для документів різних типів.

Elcut використовує наступні типи документів :

Опис завдання відповідає кожному фізичному завданню, що вирішується за допомогою Elcut. Цей документ містить такі загальні характеристики, як тип завдання ("Електростатика", "Магнітостатика", "Теплопередача" і ін.), клас моделі (плоска або вісесиметрична), а також імена інших документів, що асоціюються з цим завданням.

Геометрична модель містить повний опис геометрії завдання, мітки різних її частин і розрахункову сітку кінцевих елементів. Різні

завдання можуть використовувати загальну модель (це, зокрема, корисно при рішенні пов'язаних завдань). На розмір файлу моделі (*.mod) значний вплив робить наявність побудованої сітки. При перенесенні файлів моделі з одного комп'ютера на інший сітку бажано видалити, тоді розмір файлу зменшується у багато разів.

Фізичні властивості або Дані розрізняються для різних типів завдань (властивості для електростатики, властивості для вихрових струмів і так далі). Ці документи містять значення властивостей матеріалів, джерел поля і граничних умов для різних помічених геометричних об'єктів моделі. Документ властивостей може бути використаний як бібліотека матеріалів для різних завдань.

На рисунку 3.5 показаний інтерфейс програми.

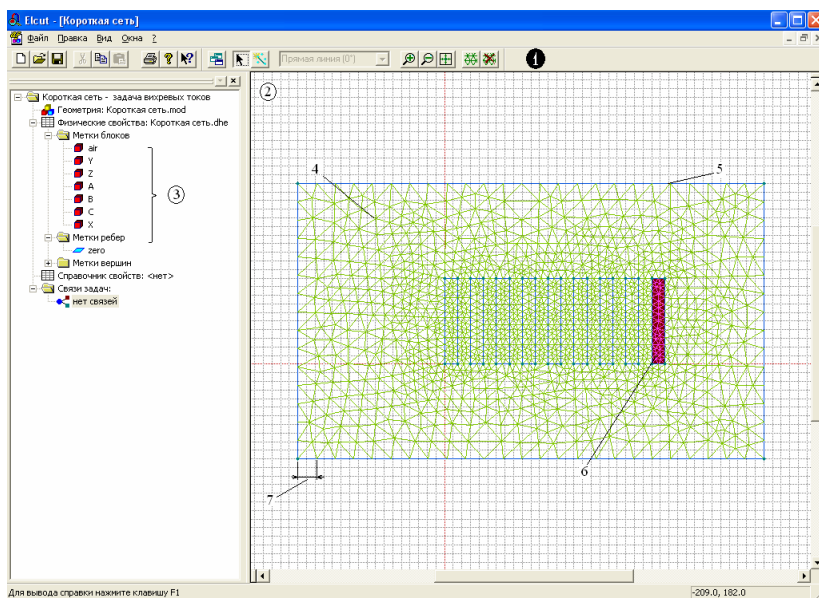


Рисунок 3.5 Вікно програми Elcut.

Цифрами позначено: 1 - панель інструментів, 2 - вікно файлу геометричної моделі, 3 - вікно завдання властивостей міток блоків, ребер і вершин, 4 - звичайно-елементна сітка, 5 - ребро, 6 - виділений блок, 7 - крок дискретизації звичайно - елементної сітки.

Послідовність виконання розрахунків в загальному вигляді виглядає таким чином: 1) створення файлів завдання, властивостей і геометрії за допомогою майстра (рис. 3.6); 2) створення моделі; 3) створення міток блоків, ребер і вершин (якщо вимагається) геометричної моделі; 4) побудова кінцева - елементної сітки; 5) рішення задачі і аналіз результатів рішення.

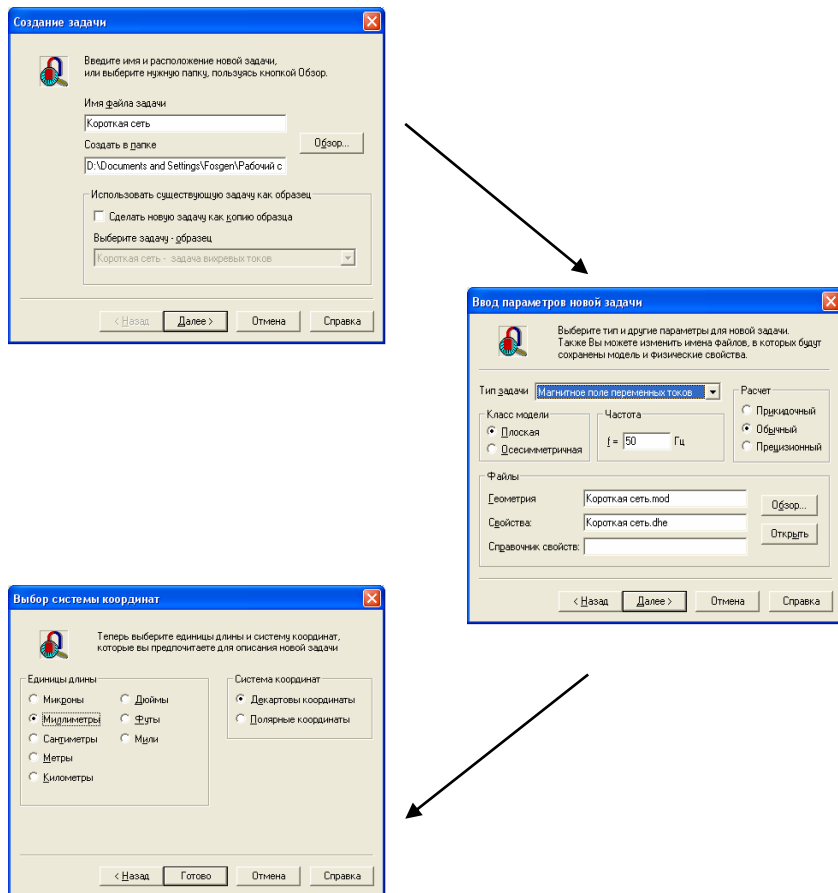


Рисунок 3.6 Майстер створення задачі.

У цьому розділі курсової роботи необхідно змоделювати розрахований ЕМ в програмі Elcut і провести автоматичний розрахунок магнітного поля цього електромагніта. Отриману картину

магнітного поля зображають на листі формату A2 (A1) чи аркуші формату A4 як додаток до пояснювальної записки. Отримані параметри індукції в проміжках порівнюють з розрахованими раніше і роблять висновок.

Методика розрахунку магнітного поля в програмі Elcut наступна [7]:

1. Створення нової задачі.
2. Введення параметрів задачі.
3. Задання геометрії, міток об'єктів та побудова сітки.
4. Введення даних про матеріал і граничні умови.
5. Розв'язання задачі.
6. Перегляд результатів і розрахунків інтегральних величин.

Розв'язання задачі:

Приклад розв'язання задачі.

Дано: електромагніт постійного струму зі стальним осердям і якорем (рис. 3.7). Котушка розвиває МРС 7000 А·в. Параметри геометрії: $L = 99$ мм, $\delta_o = 16$ мм, $\Delta 1 = 5$ мм, $\Delta 2 = 7$ мм, $\Delta 4 = 5$ мм, $a = 10$ мм, $d_{oc} = 28$ мм.

1. Створити нову задачу: меню „Файл” – „Создать” – „Задача ELCUT”.

2. Ввести параметри задачі.

2.1. Тип задачі: „Магнитостатическое поле”.

2.2. Клас моделі: „Плоская”.

2.3. Одиниці довжини: „Миллиметры”.

3. Задати геометрію, мітки об'єктів та побудувати сітку (рис. 3.8).

3.1. Вибираємо розміри області розрахунку і рисуємо квадрат, що обмежує цю область (інструкції щодо користування інструментами задавання геометрії подано у довідці програми).

3.2. Рисуємо геометрію моделі відповідно до рисунку 3.8.

3.3. Задаємо властивості матеріалів окремих блоків моделі (детально описано у довідці програми): повітря, сталь і котушка.

3.4. Задаємо нульову граничну умову Діріхле на зовнішній межі області.

3.5. Задаємо крок дискретизації сітки у властивостях вузлів моделі.

4. Вводимо дані про матеріал і граничні умови: для повітря задаємо значення магнітної проникності $\mu = 1$, для сталі – криву намагнічування (рис. 3.9), для котушки – МРС, для граничних умов – значення магнітного потенціалу – нуль.

5. Автоматична побудова сітки.

6. Розв'язання задачі.

Перегляд результатів і розрахунок інтегральних величин (рис. 3.10).

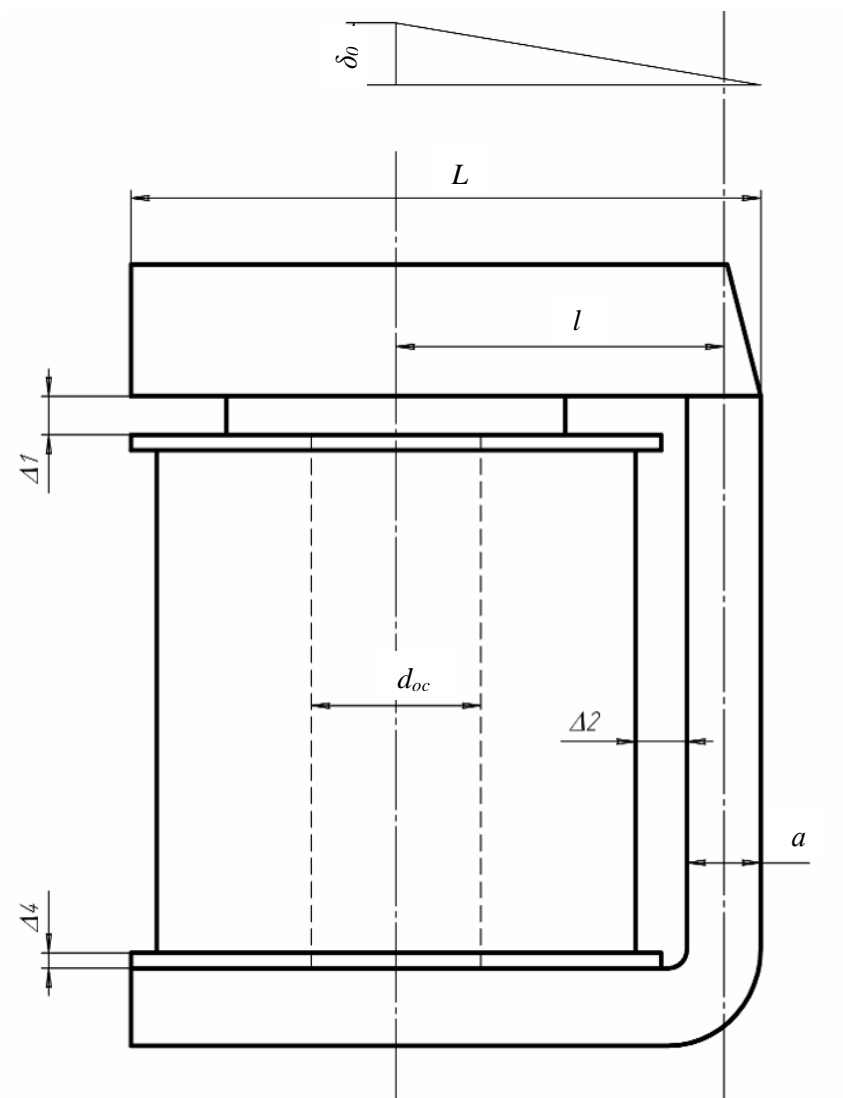


Рисунок 3.7 Геометрія моделі

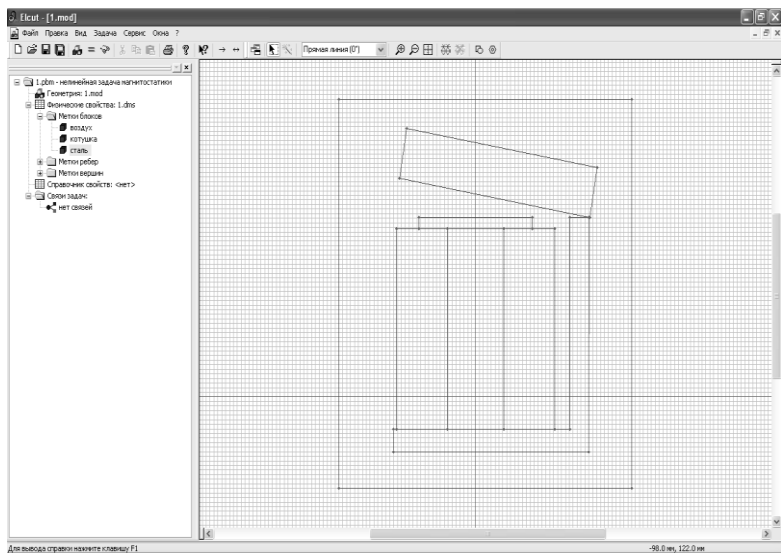


Рисунок 3.8 Геометрия модели у вікні програми

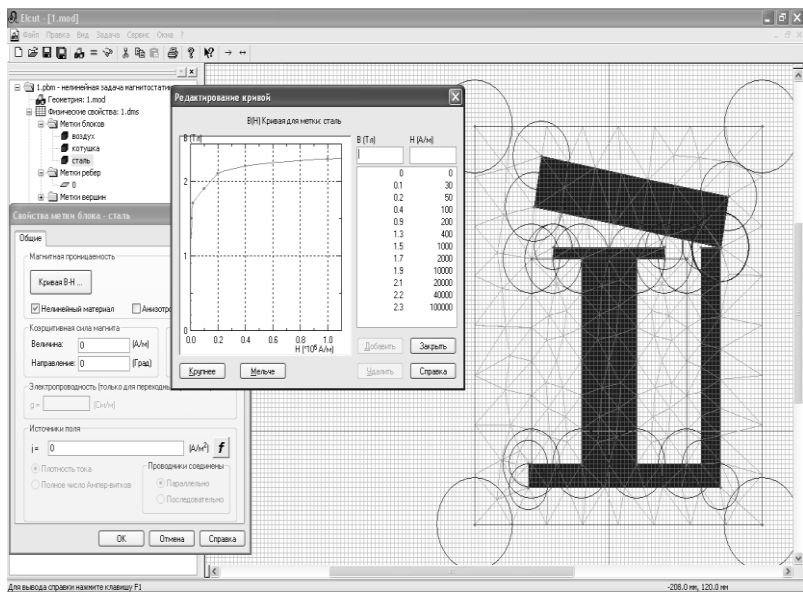


Рисунок 3.9 Введення кривої намагнічування сталі

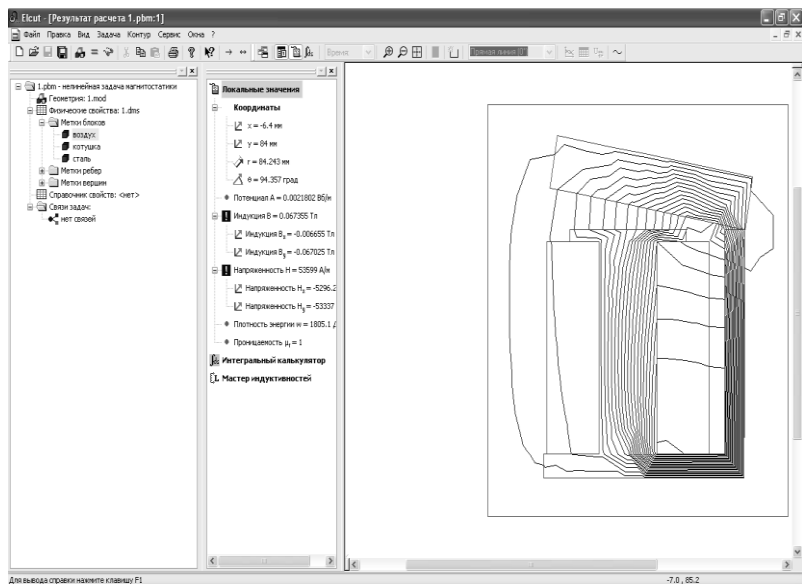


Рисунок 3.10 Перегляд результатів розрахунку

3.8 Висновки

Основні параметри електромагніта, отримані в результаті розрахунку, необхідно звести у таблицю 3.9 і зробити висновки за результатами виконання розрахунків електромагніта.

Таблиця 3.9 Результати розрахунку електромагніта (тип)

Основні параметри	Один. виміру	Значення
Робоча напруга U	В	
Струм I	А	
Потужність P	Вт	
Критична сила F_0	кг	
Число витків обмотки W'	витки	
Магніторушійна сила IW'	Ампервитки	
Довжина проводу обмотки L	м	
Діаметр проводу d'	мм ²	
Робоча температура обмотки $v_{срq}$	°С	
Загальна вага електромагніта Q	кг	
і т.д.		

4. СПЕЦІАЛЬНЕ ПИТАННЯ

4.1 Завдання для виконання спецпитання.

За заданою потужністю, частотою обертання з врахуванням кліматичного виконання, категорією розміщення і ступенем захисту для вказаних у табл. 4.1 приміщень вибрати та замовити типи електричних двигунів, апаратів керування і захисту, а також марки проводів чи кабелів для вмикання електродвигунів у мережу за схемою (рис. 4.1).

Обґрунтувати необхідність вибраних апаратів захисту та керування. Дати рекомендації по налагодженню автоматичного вимикача і теплових реле.

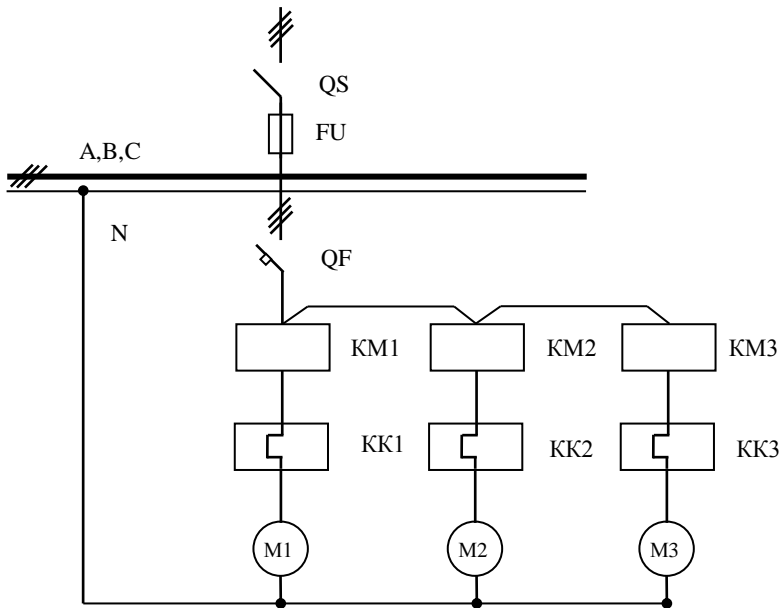


Рисунок 4.1 Розрахункова схема до спецпитання.

За варіантом у табл. 4.1 знаходять вихідні дані для його виконання.

Таблиця 4.1 Вихідні дані до завдання.

Остання цифра шифру	Типи приміщень	Передостання цифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Потужність електродвигуна, кВт									
1	2	Синхронна частота обертання, хв									
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Корівник	22 3000	11 3000	1,5 3000	2,2 1500	0,18 3000	0,55 3000	4 1000	18,5 1000	15 1000	30 3000
		1,1 1500	3 1500	18,5 1500	4 3000	5,5 1000	7,5 1000	5,5 3000	1,5 3000	11 3000	0,55 1000
		5,5 1000	2,2 3000	3 1500	7,5 1000	11 3000	2,2 1500	2,2 1000	4 1000	2,2 1500	2,2 3000
2	Пташник	5,5 1000	0,75 1000	2,2 1000	1,1 3000	1,5 1000	4 1000	11 1000	22 1000	0,18 1000	3 1000
		7,5 3000	3 1500	30 1500	2,2 1000	2,2 3000	5,5 1500	15 3000	0,18 3000	0,75 3000	4 1500
		0,18 1000	4 3000	30 1500	2,2 3000	3 1500	7,5 1500	18,5 1000	5,5 1000	0,5 1500	5,5 3000
3	Кормоцех	11 1000	1,1 1000	30 1000	0,55 1000	0,18 1000	0,37 1000	0,75 1000	5,5 1000	1,1 1000	3 1500
		5,5 1500	18,5 1000	4 1500	2,2 1500	2,2 3000	1,5 1500	7,5 1500	7,5 1500	1,5 1500	4 3000
		0,18 3000	4 1500	0,18 1000	5,5 1000	3 1500	7,5 1000	18,5 3000	5,5 1000	1,5 3000	5,5 1000

продовження табл. 4.1

4	Цех комбінова них кормів	22 1000	45 3000	11 3000	0,55 1000	2,2 1000	5,5 1000	11 1000	0,18 1000	0,12 1000	22 1000
		3 1500	4 1500	5,5 1500	7,5 1500	11 1500	15 1500	18,5 1500	22 1500	30 1500	37 1500
		2,2 3000	1,5 3000	1,1 3000	0,75 3000	0,5 3000	0,37 3000	0,25 3000	0,18 3000	0,12 3000	0,09 3000
5	Склад	5,5 1000	4 1000	5,5 1000	0,37 1000	1,1 1000	2,2 1000	11 1000	22 3000	0,75 3000	5,5 3000
		0,12 1500	1,1 1500	0,37 1500	0,55 1500	2,2 1500	7,5 1500	2,2 1500	4 1000	2,2 1000	5,5 1000
		0,18 3000	2,2 3000	0,09 3000	2,2 3000	11 3000	0,37 3000	4 1000	3 1500	3 1500	7,5 3000
6	Цех первин- ної обробки молока	3 1500	4 1500	5,5 1500	7,5 1500	11 1500	15 1500	18,5 1500	22 1500	30 1500	37 1500
		5,5 1000	5,5 3000	0,12 3000	4 1500	4 3000	11 1000	18,5 3000	2,2 3000	15 1000	37 3000
		0,09 1000	0,12 1000	0,18 1000	0,25 1000	0,37 1000	0,55 1000	0,75 1000	1,1 1000	1,5 1000	2,2 1000
7	Дерево- оброб- ний цех	11 3000	2,2 3000	3 3000	0,75 1000	18,5 1000	1,1 1000	4 1000	11 1000	5,5 1000	2,2 1000
		7,5 1000	4 1000	2,2 1000	1,1 3000	15 1500	0,55 1500	5,5 1500	1,5 1000	1,1 1500	1,5 1500
		5,5 1500	1,5 1500	0,75 1500	2,2 1000	3 1000	2,2 1500	7,5 1000	2,2 1000	2,2 1000	2,2 3000

продовження табл. 4.1

8	Майстерня з ремонту тракторів	55 1000	45 1000	37 1000	30 1000	22 1000	18,5 1000	15 1000	11 1000	7,5 3000	5,5 1000
		1,1 1500	1,5 1500	2,2 1500	0,75 1500	0,55 1500	0,37 1500	0,25 1500	0,18 1500	0,12 1500	0,09 1500
		0,75 3000	1,1 3000	1,5 3000	2,2 3000	3 3000	4 3000	5,5 3000	7,5 3000	11 3000	15 3000
9	Кухня	0,37 1500	0,55 1500	0,75 1500	1,1 1500	1,5 1500	2,2 1000	3 1000	3 1000	4 1000	7,5 1000
		11 1000	15 1000	18,5 1000	22 1000	4 1000	5,5 1000	7,5 1000	7,5 3000	11 1000	2,2 1500
		1,1 3000	2,2 3000	0,18 3000	0,25 3000	0,37 3000	0,55 3000	2,2 3000	2,2 3000	2,2 1500	2,2 1500
10	Цех з переробки плодів та овочів	3 1500	1,1 1000	2,2 3000	11 1000	0,75 1000	7,5 3000	30 1000	2,2 1000	1,5 1000	15 1000
		5,5 1000	2,2 1500	5,5 1000	1,5 1500	2,2 3000	2,2 3000	15 3000	3 1500	2,2 1500	5,5 1500
		0,09 1000	1,5 1000	7,5 1500	2,2 3000	5,5 1500	22 1000	4 1000	5,5 3000	5,5 1500	2,2 1000

Таблиця 4.2 Вибір електродвигунів за умовами навколишнього середовища

Характеристика приміщення	Найменування приміщення	Рекомендоване виконання
Сухі відносна вологість до 60% температура до 30 °С.	Інкубатори, котельні, гаражі, опалювані склади, допоміжні приміщення у майстернях	У3, IP44
Вологі відносна вологість 60...70%	Майстерні, підсобні приміщення, їдальні, котельні, кухня житла, склади без опалення, горище, підвали	У3, IP44
Вогкі відносна вологість тривало перевищує 75%	Овочесховища, цехи з переробки плодів і овочів та продуктів тваринництва і післяжнивної обробки зерна, приміщення для теплогенераторів, тваринницькі ферми і комплекси (корівники, свинарники, телятники, пташники, конюшні) з установками мікроклімату	У3, IP44
Запилені відносна вологість до 98%, температура - 40 ... +40 °С	Пункти післязбиральної обробки зерна і технічних культур, елеватори, комбікормові цехи, млини, склади цементу, зерносклади, деревообробні цеха	УПУ3, IP54
Особливо вогкі	Кормонриготувальні цехи для вологих кормів, доїльні зали, молочні, насосні, мийні, силосні й сінажні башти, парники і теплиці, сараї, зовнішні споруди, мийні відділення, молочні ферми, доїльні зали молочних відділень лазні, пральні, кормоцехи тваринницьких ферм і комплексів	У3, IP44
Особливо вогкі з хімічно активним середовищем відносна вологість 80....100%	Тваринницькі і птахівничі приміщення без мікроклімату, склади мінеральних добрив, приміщення для протруєння насіння	СУ3, IP44

Таблиця 4.3 Технічні характеристики електродвигунів серії АИР
основного виконання ($U_n = 380\text{ В}$)

Тип двигунів	P_n кВт	n_n хв ⁻¹	I_n А	ККД	$\cos\varphi$	$I_{пуск}/$ $I_{ном}$
1	2	3	4	5	6	7
$n_c = 3000\text{ хв}^{-1}$						
АИР50А2У3	0,09	2660	0,30	60	0,75	4,5
АИР50В2У3	0,12	2660	0,39	63	0,75	4,5
АИР56А2У3	0,18	2730	0,52	68	0,78	5,0
АИР56В2У3	0,25	2730	0,70	69	0,79	5,0
АИР63А2У3	0,37	2730	0,91	72	0,86	5,0
АИР63В2У3	0,55	2730	1,31	75	0,85	5,0
АИР71А2У3	0,75	2820	1,75	78,5	0,83	6,0
АИР71В2У3	1,1	2800	2,55	79	0,83	6,0
АИР80А2У3	1,5	2850	3,31	81	0,85	7,0
АИР80В2У3	2,2	2850	4,63	83	0,87	7,0
АИР90L2У3	3,0	2850	6,13	84,5	0,88	7,0
АИР100S2У3	4,0	2850	7,94	87	0,88	7,5
АИР100L2У3	5,5	2850	10,7	88	0,89	7,5
АИР112M2У3	7,5	2900	14,8	87,5	0,88	7,5
АИР132M2У3	11	2910	21,1	88	0,90	7,5
АИР160S2У3	15	2910	28,5	90	0,89	7,0
АИР160M2У3	18,5	2910	34,5	90,5	0,90	7,0
АИР180S2У3	22	2920	41,5	90,5	0,89	7,0
АИР180M2У3	30	2925	55,5	91,5	0,90	7,5
АИР200M2У3	37	2940	70,6	91,5	0,87	7,0
АИР200L2У3	45	2940	86,5	92	0,88	7,5
АИР225M2У3	55	2940	99,3	92,5	0,91	7,5
АИР250S2У3	75	2940	136	93	0,90	7,5
АИР250M2У3	90	2940	160	93	0,92	7,5
$n_c = 1500\text{ хв}^{-1}$						
АИР 50А4У3	0,06	1335	0,27	53	0,63	4,5
АИР 50В4У3	0,09	1335	0,37	57	0,65	4,5
АИР 56А4У3	0,12	1350	0,44	63	0,66	5,0
АИР56В4У3	0,18	1350	0,63	64	0,68	5,0
АИР63А4У3	0,25	1320	0,83	68	0,67	5,0
АИР 63В4У3	0,37	1320	1,18	68	0,70	5,0
АИР71А4У3	0,55	1360	1,69	70,5	0,70	5,0
АИР 71В4У3	0,75	1350	2,14	73	0,73	5,0
АИР80А4У3	1,1	1395	2,75	75	0,81	5,5
АИР80В4У3	1,5	1395	3,52	78	0,83	5,5
АИР 90L4У3	2,2	1400	5,0	81	0,83	6,5

продовження табл. 4.3.

1	2	3	4	5	6	7
АІР 100S4Y3	3,0	1410	6,7	82	0,83	7,0
АІР100L4Y3	4,0	1410	8,5	85	0,84	7,0
АІР 112M4Y3	5,5	1430	11,4	85,5	0,86	7,0
АІР І32S4Y3	7,5	1440	15,1	87,5	0,86	7,5
АІР 132M4Y3	11	1450	22,0	87,5	0,87	7,5
АІР 160S4Y3	15	1455	28,5	90	0,89	7,0
АІР 160M4Y3	18,5	1455	34,9	90,5	0,89	7,0
АІР 180S4Y3	22	1460	42,5	90,5	0,87	7,0
АІР 180M4Y3	30	1470	56,9	92,0	0,87	7,0
АІР 200M4Y3	37	1470	68,3	92,5	0,89	7,5
АІР200L4Y3	45	1470	83,0	92,5	0,89	7,5
АІР225M4Y3	55	1470	101	93,0	0,89	7,0
АІР250S4Y3	75	1480	138	94,0	0,88	7,5
АІР250M4Y3	90	1480	164	94,0	0,89	7,5
АІР280S4Y3	110	1470	196	93,5	0,91	6,5
АІР280M4Y3	132	1470	229	94,0	0,93	6,5
АІР315S4Y3	160	1470	286	93,5	0,91	5,5
АІР315M4Y3	200	1470	351	94	0,92	5,5
АІР355S4Y3	250	1470	437	94,5	0,92	5,5
АІР355M4Y3	315	1470,	550	94,5	0,92	7,0
$n_c = 1000 \times g^j$						
АІР63A6Y3	0,18	860	0,79	56,0	0,62	4,0
АІР63B6Y3	0,25	860	1,04	59,0	0,62	4,0
АІР71A6Y3	0,37	915	1,31	65,0	0,65	4,5
АІР71B6Y3	0,55	915	1,74	68,5	0,70	4,5
АІР80A6Y3	0,75	920	2,26	70,0	0,72	4,5
АІР80B6Y3	1,1	920	3,05	74,0	0,74	4,5
АІР90L6Y3	1,5	925	4,2	76,0	0,72	6,0
АІР100L6Y3	2,2	945	5,6	81,0	0,74	6,0
АІР112MA6Y3	3,0	950	7,1	81,5	0,75	6,0
АІР112MB6Y3	4,0	950	9,2	82,0	0,81	6,0
АІР І32S6Y3	5,5	960	12,3	85,0	0,80	7,0
АІР132M6Y3	7,5	960	16,5	85,5	0,81	7,0
АІР 160S6Y3	11,0	970	22,9	88,0	0,83	6,5
АІР І60M6Y3	15,0	970	30,1	88	0,85	6,5
АІР180M6Y3	18,5	980	37,0	89,5	0,85	6,5
АІР 200M6Y3	22	980	44,7	90	0,83	6,5
АІР 200L6Y3	30	975	59,6	90	0,85	6,5
АІР225M6Y3	37	980	72,7	91	0,85	6,5
АІР250S6Y3	45	980	87,0	92,5	0,85	6,5
АІР 250M6Y3	55	980	105	92,5	0,86	6,5

продовження табл. 4.3.

1	2	3	4	5	6	7
АИР 28056У3	75	980	137	92,5	0,90	6,5
АИР 280М6У3	90	975	163	93	0,90	6,5
АИР315S6У3	110	980	195	93	0,92	6,0
АИР315М6У3	132	980	238	93,5	0,90	6,5
АИР355S6У3	160	980	287	94	0,90	7,0
АИР355М6У3	200	980	357	94,5	0,90	7,0

Таблиця 4.4 Технічні характеристики електродвигунів серії 4АМ основного виконання ($U_n = 380\text{ В}$)

Тип двигунів	P_n кВт	n_n хв ⁻¹	I_n А	ККД	cosφ	$I_{ниск}/I_{ном}$
1	2	3	4	5	6	7
$n_c = 3000\text{ хв}^{-1}$						
4ААМ50А2У3	0,09	2640	0,31	60	0,75	5,0
4ААМ50В2У3	0,12	2640	0,39	63	0,75	5,0
4ААМ56А2У3	0,18	2760	0,55	66	0,76	5,0
4ААМ 56В2У3	0,25	2760	0,73	68	0,77	5,0
4ААМ 63А2У3	0,37	2750	0,94	70	0,86	5,0
4ААМ 63В2У3	0,55	2745	1,33	73	0,86	5,0
4АМ 71А2У3	0,75	2820	1,7	77	0,87	6,0
4АМ 71В2У3	1,1	2790	2,48	77,5	0,87	6,0
4АМ 80А2У3	1,5	2850	3,3	81	0,85	7,0
4АМ 80В2У3	2,2	2850	4,6	83	0,87	7,0
4АМ 90L2У3	3,0	2820	6,1	84,5	0,88	7,0
4АМ 100S2У3	4,0	2880	7,9	86,5	0,89	7,5
4АМ 100L2У3	5,5	2880	10,5	87,5	0,91	7,5
4АМ 112М2У3	7,5	2925	15,0	87,5	0,88	7,5
4АМ 132М2У3	11	2930	21,1	88	0,90	7,5
4АМ 160S2У3	15	2910	28,8	88	0,90	7,0
4АМ 160М2У3	18,5	2910	35,1	89	0,90	7,0
4АМ 180S2У3	22	2925	42,0	89,5	0,89	7,0
4АМ 180М2У3	30	2940	56,2	91	0,89	7,5
4АМ 200М2У3	37	2940	69,4	91	0,89	7,0
4АМ 200L2У 3	45	2940	84,4	91	0,89	7,5
4АМ 225М2У3	55	2940	100	91	0,92	7,5
4АМ 250S2У3	75	2940	141	91	0,89	7,5
4АМ 250М2У3	90	2940	166	92	0,90	7,5
$n_c = 1500\text{ хв}^{-1}$						
4ААМ 50А4У3	0,06	1320	0,27	53	0,63	4,5
4ААМ 50В4У3	0,09	1320	0,37	57	0,65	4,5
4ААМ 56А4У3	0,12	1380	0,44	63	0,66	5,0
4ААМ 56В4У3	0,18	1370	0,67	64	0,68	5,0

продовження табл. 4.4.

1	2	3	4	5	6	7
4AAM 63A4Y3	0,25	1380	0,86	68	0,67	5,0
4AAM 63B4Y3	0,37	1365	1,2	68	0,70	5,0
4AM 71A4Y3	0,55	1365	1,7	70,5	0,70	5,0
4AM 71B4Y3	0,75	1365	2,2	72	0,73	5,0
4AM 80A4Y3	1,1	1395	2,75	75	0,81	5,5
4AM 80B4Y3	1,5	1395	3,6	77	0,83	5,5
4AM 90L4Y3	2,2	1410	5,0	81	0,83	6,5
4AM 100S4Y3	3,0	1410	6,7	82	0,83	7,0
4AM 100L4Y3	4,0	1410	8,6	85	0,84	7,0
4AM 112M4Y3	5,5	1425	11,5	84	0,86	7,0
4AM 132S4Y3	7,5	1455	15,1	85,5	0,86	7,5
4AM 132M4Y3	11	1455	22,0	87,5	0,87	7,5
4AM 160S4Y3	15	1460	29,1	89	0,89	7,0
4AM 160M4Y3	18,5	1470	35,5	90	0,89	7,0
4AM 180S4Y3	22	1470	41,5	90,5	0,87	7,0
4AM 180M4Y3	30	1470	56,8	91	0,87	7,0
4AM 200M4Y3	37	1470	69,0	91,5	0,89	7,5
4AM 200L4Y3	45	1470	83,3	92	0,89	7,5
4AM 225M4Y3	55	1470	102	92,5	0,89	7,0
4AM 250S4Y3	75	1470	138	93	0,88	7,5
4AM 250M4Y3	90	1480	165	93	0,89	7,5
$n_c = 1000 \text{ xg}^{-1}$						
4AAM 63A6Y3	0,18	885	0,79	56,0	0,62	4,0
4AAM 63B6Y3	0,25	890	1,05	59,0	0,62	4,0
4AM 71A6Y3	0,37	920	1,25	64,5	0,69	4,0
4AM 71B6Y3	0,55	920	1,75	67,5	0,71	4,0
4AM 80A6Y3	0,75	920	2,25	69,0	0,74	4,0
4AM 80B6Y3	1,1	920	3,05	74,0	0,74	4,0
4AM 90L6Y3	1,5	940	4,1	75,0	0,73	5,5
4AM 100L6Y3	2,2	950	5,65	81,0	0,76	5,5
4AM 112MA6Y3	3,0	950	7,4	81,0	0,81	6,0
4AM 112MB6Y3	4,0	945	9,15	82,0	0,80	6,0
4AM 132S6Y3	5,5	945	12,3	85,0	0,81	7,0
4AM 132M6Y3	7,5	960	16,5	85,5	0,82	7,0
4AM 160S6Y3	11,0	970	23,6	86,5	0,82	6,5
4AM 160M6Y3	15,0	975	31,6	88	0,85	6,5
4AM 180M6Y3	18,5	975	37,6	88	0,86	6,5
4AM 200M6Y3	22	975	43,2	90	0,86	6,5
4AM 200L6Y3	30	980	58,6	90,5	0,86	6,5
4AM 225M6Y3	37	980	72,0	91	0,86	6,5
4AM 250S6Y3	45	985	88,0	91,5	0,85	6,5
4AM 250M6Y3	55	985	107	92	0,85	6,5

4.2 Методичні рекомендації по виконанню спецпитання.

4.2.1. Розрахунок і вибір апаратури керування та захисту

Керування електроспоживачами (електроприводами, електронагрівними пристроями, освітлювальними і опромінювальними установками) і захист їх від аварійних режимів роботи здійснюється електротехнічними пристроями, які називаються апаратами керування і захисту.

Для збільшення строку служби електроспоживачів потрібно технічно грамотно вибрати необхідну апаратуру керування і захисту силових кіл розробленої принципіальної електричної схеми керування. Вибрати апарат – це означає відібрати з великої кількості однотипних апаратів найбільш досконалий, дешевий апарат, технічні дані якого відповідають умовам вибору, вимогам техніки безпеки і протипожежним правилам.

Вибирають апарати за величиною напруги, родом і величиною струму, кліматичним виконанням, умовами захисту від впливу навколишнього середовища, його відповідності технологічним вимогам та іншими показниками.

При виборі необхідно враховувати також характер і режим роботи електроприймачів.

При виборі апаратів керування і захисту доцільно користуватись структурами умовних позначень апаратів, вибираючи з них те, що потрібно для конкретного застосування апарату.

4.2.2 Вибір рубильників і перемикачів.

Для ручного керування електроустановками у сільському господарстві використовують рубильники і перемикачі серії Р і РП, призначені для неавтоматичної комутації силових електричних кіл та розподілу електричної енергії. Пакетно-кулачкові перемикачі серії ПКП, пакетні вимикачі і перемикачі серії ПВ і ПП, використовуються як ввідні вимикачі, перемикачі головних кіл і як пускові апарати для асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. Пускачі натискні вібростійкі серії ПНВ і ПНВС, призначені для пуску і зупинки трифазних і відповідно однофазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

Вибираємо апарати ручного керування за умовами:

а) за номінальною напругою

$$U_{a. \text{ ном}} \geq U_{\text{мер. ном}} ;$$

де $U_{a. ном}$ – номінальна напруга апарата, B ;

$U_{мер. ном}$ – напруга мережі, B ;

б) за номінальним струмом:

$$I_{a. ном} \geq I_{дов. ном};$$

де $I_{a. ном}$ – номінальна сила струму апарата, A ;

$I_{дов. ном}$ – максимальний тривалий робочий струм електроустановки (електродвигуна), A ;

Якщо апарат ручного керування призначений для безпосереднього вмикання чи вимикання електричних кіл під навантаженням, то необхідно перевірити комутаційну здатність апарата. Комутаційні струми вказані в технічній характеристиці апарата.

Приклад. Вибрати рубильник QS , що використовується як ввідний комутаційний апарат прямого пуску двигуна $4AM180M2Y3$ ($P_n = 30кВт$, $I_p = 56,2A$).

Вибираємо рубильник QS за умовами:
за номінальною напругою:

$$U_{a. ном} \geq U_{мер. ном};$$

$$U_{a. ном} \geq 380B;$$

де $U_{a. ном}$ – номінальна напруга апарата, B ;

$U_{мер. ном}$ – напруга мережі, B ;

за номінальним струмом

$$I_{a. ном} \geq I_{дов. ном};$$

$$I_{a. ном} \geq 56,2;$$

де $I_{a. ном}$ – номінальна сила струму апарата, A ;

$I_{дов. ном}$ – максимальний тривалий робочий струм електродвигуна M , A .

З таблиці 4.4 приймаємо рубильник серії РП-100, що може використовуватися для ручної комутації без навантаження в мережах з номінальною напругою до $660 B$ змінного струму частотою $50 Гц$. Даний рубильник з боковою незнімною рукояткою, $I_n=100A$, триполюсний, без дугогасильних камер, без додаткових контактів, з виконанням за ступенем захисту IP00.

Таблиця 4.5 Технічна характеристика рубильників і перемикачів

Типи	Номінальний струм, А	Комутаційна здатність при 380 В				Примітки	
		Вмикання		Вимикання			
		I_k/I_n	$\cos\varphi$	I_k/I_n	$\cos\varphi$		
Рубильники серії Р (центральною рукою) та РП (боковою рукою)	Ступінь захисту ІР00					3 дугогасильними камерами (д. к.)	
	100	1,0	0,35	1,0	0,35	із д. к.	
		0,3	0,80	0,3	0,80	без д. к.	
	250	1,0	0,55	1,0	0,65	із д. к.	
		0,3	0,80	0,3	0,80	без д. к.	
	400	1,0	0,95	1,0	0,95	із д. к.	
		0,1	0,95	0,1	0,95	без д. к.	
	630	1,0	0,95	1,0	0,95	із д.к.	
		0,1	0,95	0,1	0,95	без д. к.	
Перемикачі пакетно-кулачкові серії ПКП:					Кількість комутованих кіл		
ПКП-25	25	10	0,35	8	0,35	1-12	
ПКП-40	40	7	0,35	7	0,35	1-6	
ПКП-63	63	9	0,35	9	0,35	1-16	
ПКП-100	100	5,7	0,35	5,7	0,35	1-6	
ПКП-160	160	3,5	0,35	3,5	0,35	1-3	
Перемикачі та вимикачі пакетні серії ПП і ПВ:	при 220 В:	при 380 В:				Кількість комутованих кіл	
ПВ-3-10	10	6					
ПВ-3-25	25	16	1,0	0,3-0,8	1,0	0,3-0,8	1-4
ПВ-3-63	63	40					
ПВ-3-100	100	63					
Перемикачі пакетно-кулачкові серії ПКУ-3						Категорія застосування	
	10	7,0	0,7	0,7	0,7	АС1	
	10	1,6	0,95	1,6	0,95	АС21	
	10	5,1	0,65	0,85	0,65	АС3	

4.2.3 Вибір запобіжників.

Плавкі запобіжники, призначені для захисту електродвигунів від коротких замикань, треба вибирати так, щоб напруга, на яку розраховані запобіжники U_3 , була не меншою від номінальної напруги електромережі $U_{\text{мер. ном}}$, в якій вони будуть працювати, номінальний струм плавких вставок запобіжників $I_{\text{в. ном}}$ був не менший від їх розрахункового струму $I_{\text{в. роз}}$, а номінальний струм запобіжників $I_{\text{з. ном}}$ був не меншим від номінального струму вибраних плавких вставок, тобто повинні виконуватися умови:

$$U_3 \geq U_{\text{мер. ном}} ;$$

$$I_{\text{в. ном}} \geq I_{\text{в. роз}} ;$$

$$I_{\text{з. ном}} \geq I_{\text{в. ном}}$$

Розрахунковий струм плавких вставок запобіжників, призначених для захисту одного двигуна, визначають за формулою:

$$I_{\text{в. роз}} = \frac{I_{\text{дв. ном}} K_i}{\alpha}$$

де α - коефіцієнт, який враховує умови пуску двигуна. За нормальних (легких) умов пуску (нечасті пуски, тривалість пуску не більше 10с) $\alpha = 2,5$, а при важких - $\alpha = 2,0 \dots 1,6$.

Розрахунковий струм плавких вставок запобіжників, призначених для захисту групи двигунів:

$$I_{\text{в. роз}} = K_0 \sum_1^{n-1} I_{\text{дв. ном}} K_3 \cdot \frac{I_{\text{дв. ном. нб}} K_{i. нб}}{\alpha_{нб}}$$

де $K_0 \sum_1^{n-1} I_{\text{дв. ном}} K_3$ - сумарний робочий струм одночасно працюючих електродвигунів, за винятком струму двигуна, який має найбільший пусковий струм, A ;

K_0 - коефіцієнт одночасності роботи усіх електродвигунів, що живляться від лінії електропередачі, для захисту якої вибирають запобіжники (приймаємо $K_0=1$);

κ_3 і $I_{\text{дв.ном}}$ - коефіцієнт завантаження (приймаємо $\kappa_3=1$) і номінальний струм кожного електродвигуна, А; та

$I_{\text{дв.ном.нб}}$ і $\kappa_{i.\text{нб}}$ - номінальний струм, А, і кратність пускового струму двигуна, який має найбільший пусковий струм;

Приклад. Вибрати запобіжники *FU1-3* для захисту електродвигуна *4AM180M2УЗ* ($P_n = 30\text{кВт}$, $I_n = 56,2\text{А}$, $\kappa_i=7,5$), умови пуску легкі.

Визначаємо розрахунковий струм плавких вставок за формулою

$$I_{\text{в.роз}} = \frac{I_{\text{дв.ном}} \kappa_i}{\alpha} = \frac{56,2 \cdot 7,5}{2,5} = 168,6\text{А}$$

де $I_{\text{дв.ном}}$ - номінальний струм електродвигуна, А;

κ_i - кратність пускового струму;

α - коефіцієнт, що враховує умови пуску двигуна.

Вибираємо запобіжники *FU1-3*:

- за номінальною напругою:

$$U_3 \geq U_{\text{мер. ном}} ;$$

$$U_3 \geq 380\text{В} ;$$

де U_3 - номінальна напруга запобіжника, В;

$U_{\text{мер. ном}}$ - напруга мережі, захищаємо запобіжниками, В.

- за номінальним струмом запобіжника:

$$I_{3.\text{ ном}} \geq I_{\text{в. ном}}$$

де $I_{3.\text{ ном}}$ - номінальний струм запобіжника, А;

$I_{\text{в. ном}}$ - номінальний струм плавкої вставки, А;

- за номінальним струмом плавкої вставки:

$$\begin{aligned} I_{\text{в.ном}} &\geq I_{\text{в. роз}} ; \\ I_{\text{в.ном}} &\geq 168,6\text{А} ; \end{aligned}$$

де $I_{\text{в. роз}}$ - розрахунковий струм плавкої вставки, А.

Для захисту електродвигуна від струмів короткого замикання до вибору приймаємо запобіжних серії ПН2-250УЗ з плавкою вставкою на 200А , який використовується в колах змінного струму напругою до 380 В . Основа запобіжника розрахована на номінальну силу струму 250 А .

Таблиця 4.6 Технічна характеристика запобіжників

Тип	Виконання	Номинальні величини		
		напруга, В	сила струму ножів, А	номинальний струм плавкої вставки
ПРС	Пробковий різьбовий	380	6 25 63 100	1; 2; 4; 6 4; 6; 10; 16; 20; 25 20; 25; 40; 63 40; 63; 80; 100
ПН2	Розбірний з наповнювачем	380	100 250 400 600	30; 40; 50; 60; 80; 100 80; 100; 120; 150; 200; 250 200; 250; 300; 400 300; 400; 500; 600
ППЗ1-29	Розбірний показуючий	380	63	4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
ППЗ1-33		380	160	50; 63; 80; 100; 125; 160
ППЗ1-35		380	250	125; 160; 200; 250
ППЗ1-39		380	630	200; 250; 320; 400; 500;
ППЗ1-41		380	1000	500; 630; 800; 1000

4.2.4 Вибір автоматичного вимикача.

Автоматичний вимикач, необхідний для захисту електродвигунів, треба вибирати так, щоб його виконання за родом струму, кількістю полюсів, видом розчіплювачів, захищеністю від впливу оточуючого середовища та іншими даними відповідало вимогам двигунів та умовам експлуатації їх. При цьому номінальна напруга вибраного вимикача $U_{a,ном}$ повинна дорівнювати або перевищувати номінальну напругу електромережі $U_{мер,ном}$, у якій він буде працювати, а номінальний струм головного вимикача $I_{a,ном}$ та номінальний струм його теплових $I_{т,ном}$ і електромагнітних $I_{е,ном}$ нам розчіплювачів повинні дорівнювати або трохи перевищувати номінальний струм двигуна $I_{дв,ном}$. Отже, повинні виконуватись такі умови:

$$U_{a, ном} \geq U_{мер. ном} ;$$

$$I_{a,ном} \geq I_{дв. ном} ;$$

$$I_{т. ном} = I_{е. ном} \geq I_{дв. ном}$$

Для забезпечення надійного захисту двигуна від перевантаження після вибору вимикача (під час налагодження) на шкалі установок треба виставити необхідну уставку.

Щоб забезпечити надійний захист двигуна від струмів коротких замикань і не допустити вимикання його під час пуску, уставку за струмом спрацювання електромагнітних розчіплювачів треба вибрати, виходячи з умови

$$I_{y.e} \geq K_{зап} \cdot K_{p,y} \cdot K_{p,n} \cdot K_i \cdot I_{\text{дв. ном}}$$

де $K_{зап}$ - коефіцієнт запасу, який враховує коливання напруги (беруть $K_{зап} = 1,1$);

$K_{p,y}$ - коефіцієнт, що враховує неточність (розкид) уставки за струмом спрацювання електромагнітних розчіплювачів (приймають за даними технічної характеристики автоматичного вимикача);

$K_{p,n}$ - коефіцієнт, який враховує можливе відхилення пускового струму ($K_{p,n} = 1,2$);

K_i - каталожна кратність пускового струму двигуна;

$I_{\text{дв. ном}}$ - номінальний струм двигуна.

У тих випадках, коли один автоматичний вимикач застосовують для захисту від струмів короткого замикання кількох електродвигунів, його вибирають за такими умовами:

$$U_{a. \text{ ном}} \geq U_{\text{мер. ном}} ;$$

$$I_{a. \text{ ном}} \geq \sum_1^n I_{\text{дв. ном}} ;$$

$$I_{e. \text{ ном}} \geq \sum_1^n I_{\text{дв. ном}} ;$$

$$I_{y.e} \geq K_{зап} \cdot K_{p,y} \cdot \sum_1^n I_{\text{дв. ном}} + I_{\text{дв. ном. нб}} (K_{p,n} \cdot K_{i. \text{ нб}} - 1)$$

де $\sum_1^n I_{\text{дв. ном}}$ - сума номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів, А;

$I_{\text{дв. ном. нб}}$ - та $K_{i. \text{ нб}}$ - номінальний струм, А та кратність пускового струму двигуна, який має найбільший пусковий струм.

Приклад. Вибрати автоматичний вимикач QF для захисту електродвигуна від струмів короткого замикання та перевантаження. В

схемі використано електродвигун електродвигуна 4AM180M2Y3 ($P_n = 30\text{кВт}$, $I_n = 56,2\text{А}$, $\kappa_i=7,5$).

Визначаємо струми електродвигуна.

Для окремого електродвигуна за розрахунковий струм, приймаємо його номінальний струм, тобто $I_p = I_{\text{дв. ном}}$ а максимальний короткочасний струм визначаємо за формулою

$$I_{\text{макс}} = K_i I_{\text{дв. ном}} = 7,5 \cdot 56,2 = 421,5\text{А}$$

де K_i - кратність пускового струму електродвигуна;

$I_{\text{дв. ном}}$ - номінальний струм електродвигуна, А.

Вибираємо автоматичний вимикач QF за умовами:

- за номінальною напругою

$$U_{\text{а. ном}} \geq U_{\text{мер. ном}} ;$$

$$U_{\text{а. ном}} \geq 380\text{В};$$

де $U_{\text{а. ном}}$ - номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{\text{мер. ном}}$ - напруга мережі, захищеної автоматичним вимикачем, В.

- за номінальним струмом автомата

$$I_{\text{а. ном}} \geq I_{\text{дв. ном}} ;$$

$$I_{\text{а. ном}} \geq 56,2\text{А} ;$$

де $I_{\text{а. ном}}$ - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

I_p - розрахунковий струм електродвигуна, А,

в) за номінальним струмом розчіплювача:

$$I_{\text{ном. розч}} \geq I_{\text{дв. ном}}$$

де $I_{\text{ном. розч}}$ - номінальний струм розчіплювача, А;

I_p - розрахунковий струм електродвигуна, А.

Для захисту електродвигуна від струмів коротких замикань та перевантажень приймаємо автоматичний вимикач серії ВА51-31-34, розрахований для роботи в мережах змінного струму напругою до 660 В, з номінальним струмом $I_{\text{а. ном}} = 100\text{А}$, з номінальним струмом розчіплювача $I_{\text{ном. розч}}$ триполюсний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачем.

Визначаємо струм уставки електромагнітного розчіплювача

$$I_{\text{уст. е}} \geq K_{\text{не}} I_{\text{макс}} = 1,25 \cdot 421,5 = 526,9\text{А}$$

де $I_{уст.е}$ - струм уставки електромагнітного розчіплювача, А;
 $K_{не}$ - коефіцієнт надійності, враховуючий неточність по струму спрацювання електромагнітного розчіплювача (приймаємо 1,25);
 $I_{макс}$ - максимальний короточасний струм електродвигуна (пусковий струм), А.

Приймаємо уставку по струму спрацювання в зоні короткого замикання $I_{уст.е} = 10 I_{ном,розч}$, тобто $I_{уст.е} = 10 \cdot 80 = 800$ А.

Визначаємо струм уставки теплового розчіплювача:

$$I_{уст.т} \geq K_{нт} I_p = 1,25 \cdot 56,2 = 67,4 \text{ А}$$

де $I_{уст.т}$ - струм уставки теплового розчіплювача, А;
 $K_{нт}$ - коефіцієнт надійності, враховуючий неточність по струму спрацювання теплового розчіплювача (приймаємо 1,1... 1,3);
 I_p - розрахунковий струм електродвигуна, А.

Тепловий розчіплювач автоматичного вимикача має діапазон регулювання струму неспрацювання в межах $(0,8-1) I_{ном,розч}$ тобто $(0,8-1)80 = 64-80$ А. Під час наладки уставку теплового розчіплювача необхідно налагодити на струм 67,4 А.

Таблиця 4.7 Технічні характеристики автоматичних вимикачів серії ВА51

Типи вимикачів	Номінальна сила струму, А		Гранична комутаційна здатність, кА (діюче значення) при 380 В	Кількість полюсів	Сила струму відсічки, кратна номінальному струму розчіплювачів
	вимикача	розчіплювачів			
ВА51-25-84	25	6,3; 8; 10; 12,5 16; 20; 25	2(5) 2,5(5) 3,8(5)	2	$10I_{нр}$
ВА51-25-34	25	Те ж	те ж	3	$(7,10)I_{нр}$
ВА51Г-25-34	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0 1,25; 1,6 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8 10; 12,5 16; 20; 25	3(5) 1,5(5) 2,0(5) 3,0(5)	3	$10I_{нр}$
ВА51-29-14	63	6,3; 8; 10; 12,5 16 20; 25 31,5; 40; 50; 63	1,5 3,0 4,0 8,0	1	$(3,7,10)I_{нр}$

продовження табл. 4.7

BA51-31-24	100	6,3; 8; 10; 12,5 16 20; 25; 31,5; 40; 50; 63 80; 100	2(5) 2,5(6) 3,5(6)	2	(3,7,10)I _{нр}
BA51-31-34	100	6,3; 8; 10; 12,5 16 20; 25; 31,5; 40 50; 63 80; 100	2(5) 2,5(5) 3,8(12) 5(12) 6(12) 7(12)	3	(3,7,10)I _{нр}
BA51Г-31-34	100	15; 20; 25; 31,5; 40 50; 63 80; 100	3,6(12) 6(12) 7(12)	3	14I _{нр}
BA51-33-24	160	80; 100; 125; 160	12,5	2	10I _{нр}
BA51-33-34	160	80; 100; 125; 160	12,5	3	10I _{нр}
BA51Г-33-34	160	80; 100; 125; 160	12,5	3	14I _{нр}
BA51-35-34	250	160; 200; 250	15	3	12I _{нр}
BA51-37-34	400	250; 320; 400	25	3	10I _{нр}
BA51-39-34	630	400; 500; 630	35	3	12I _{нр}

4.2.5 Вибір електромагнітних пускатів

Автоматизоване та автоматичне керування електроустановками здійснюють за допомогою електромагнітних пускатів, контакторів. У сільськогосподарських електроустановках рекомендується застосовувати: електромагнітні пускаті серії ПМА, ПМЛ, ПБТ які призначені для дистанційного пуску безпосереднім вмиканням в електромережу і зупинки асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором та інших електроприймачів, а при наявності теплових стумових реле вони захищають також електродвигуни від перевантажень; контактори серії МК і КМИ застосовують для замикання і розмикання силових кіл установок з великими струмами навантаження [8,9].

Електромагнітні пускаті вибирають:

1. За призначенням (реверсивний, нереверсивний, для пуску асинхронних короткозамкнених двигунів з перемиканням обмоток статора з "зірки" на "трикутник") - залежно від режиму роботи і способу пуску двигуна.

2. За конструктивним виконанням (з кнопками керування, без кнопок, з сигнальною лампою, без лампи тощо) залежно від місця встановлення (окремо, в комплектному пристрої) та необхідності в сигналізації.

3. За наявністю теплових реле - залежно від потреби в тепловому захисті двигуна.

4. За захищеністю від впливу навколишнього середовища, кліматичного виконання і категорією розміщення - відповідно до умов, в яких він буде експлуатуватися. Пускачі, які встановлюються в оболонках комплектних пристроїв керування, повинні мати ступінь захисту IP00.

5. За номінальною робочою напругою - так, щоб номінальна робоча напруга пускача $U_{ном.р}$ була не меншою від напруги електромережі $U_{мер}$, в якій він буде працювати, тобто повинна виконуватися умова:

$$U_{ном.р} > U_{мер}.$$

де $U_{ном.р}$ - номінальна напруга апарата, В;

$U_{мер}$ - напруга мережі, В;

6. За величиною (номінальним робочим струмом) - відповідно до номінального струму електродвигуна, виходячи з умови:

$$I_{ном.р} > I_{дов.ном}.$$

де $I_{ном.р}$ - номінальна сила струму апарата, А;

$I_{дов.ном}$ - максимальний тривалий робочий струм електроустановки, А;

7. За умовами комутації (при категорії застосування А3 і А4):

$$6I_{ном.р} > I_{дов.ном}.$$

8. За напругою втягувальної котушки пускача - відповідно до напруги кола керування, виходячи з умови:

$$U_{ном. кот} > U_{кер}.$$

де $U_{кот.ном}$ - номінальна напруга котушки, В;

$U_{кер}$ - напруга кола керування, В;

9. За кількістю контактів допоміжного кола - відповідно до кількості їх, зазначених на принципіальній електричній схемі. (При недостатній кількості контактів допоміжного кола необхідно вибрати контактну приставку ПКЛ).

Приклад. Вибрати електромагнітний пускач КМ, що використовується для прямого пуску електродвигуна 4АМ180М2У3 ($P_n = 30\text{кВт}$, $I_n = 56,2\text{А}$, $\kappa_i=7,5$).

Вибираємо електромагнітний пускач КМ за умовами:

- за номінальною напругою:

$$U_{\text{ном.р}} > U_{\text{мер.}}$$

$$U_{\text{ном.р}} > 380\text{В.}$$

- за номінальним струмом:

$$I_{\text{ном.р}} > I_{\text{дв.ном.}}$$

$$I_{\text{ном.р}} > 56,2\text{А.}$$

- за номінальною напругою та родом струму котушки:

$$U_{\text{ном. кот}} > U_{\text{кер.}}$$

$$U_{\text{ном. кот}} > 220\text{В.}$$

- відповідність наявних контактів" принциповій електричній схемі. Принципова електрична схема вимагає від електромагнітного пускача I_3 , додатковий контакт.

З таблиці 4.8 приймаємо електромагнітний пускач серії ПМЛ - 4200О4А - пускач четвертої величини з $I_{\text{ном.р}}=63\text{А}$ при напрузі 380В , розрахований для роботи при напрузі до 660 В , нереверсивний з тепловим реле, з виконанням за ступенем захисту IP00, без кнопок, з номінальною напругою втягувальної котушки 220 В (змінний струм), з $I_3 + I_P$ допоміжними контактами.

Таблиця 4.8 Технічні характеристики електромагнітних пускачів ПМЛ.

Номінальна сила струму, А	Кількість контактів	Величини пускачів	Магнітні пускачі типу ПМЛ				
			IP 00	IP 54			
			без кнопок "Пуск" і "Стоп" та без теплових реле	Номінальний робочий струм, А	без кнопок "Пуск" і стоп та теплових реле	з кнопками "Пуск" і "Стоп" та тепловими реле	з кнопками "Пуск" і "Стоп", сигнальними лампами та тепловими реле
1	2	3	4	5	6	7	8
нереверсивні							
10	13	1	ПМЛ-110004	10	ПМЛ-121002	ПМЛ-122002	ПМЛ-123002

продовження табл. 4.8.

10	1p	1	ПМЛ-1101О4	-	-	-	-
25	1з	2	ПМЛ-2100О4	22	ПМЛ-2210О2	ПМЛ-2220О2	ПМЛ-2230О2
25	1p	2	ПМЛ-2101О4	-	-	-	-
40	1з+1p	3	ПМЛ-3100О4	36	ПМЛ-3210О2	ПМЛ-3220О2	ПМЛ-3230О2
63	1з+1p	4	ПМЛ-4100О4	60	ПМЛ-4210О2	ПМЛ-4220О2	ПМЛ-4230О2
80	1з+1p	5	ПМЛ-5100О4	80	ПМЛ-5210О2	-	-
80	2з+2p	5	ПМЛ-5101О4	80	ПМЛ-5211О2	-	-
80	3з+3p	5	ПМЛ-5102О4	80	ПМЛ-5212О2	-	-
80	3з+1p	5	ПМЛ-5103О4	80	ПМЛ-5213О2	-	-
80	5з+1p	5	ПМЛ-5104О4	80	ПМЛ-5214О2	-	-
125	1з+1p	6	ПМЛ-6100О4	100	ПМЛ-6210О2	-	-
125	2з+2p	6	ПМЛ-6101О4	100	ПМЛ-6211О2	-	-
125	3з+3p	6	ПМЛ-6102О4	100	ПМЛ-6212О2	-	-
125	3з+1p	6	ПМЛ-6103О4	100	ПМЛ-6214О2	-	-
125	5з+1p	6	ПМЛ-6104О4	100	ПМЛ-6214О2	-	-
200	1з+1p	7	ПМЛ-7100О4	160	ПМЛ-7210О2	-	-
200	2з+2p	7	ПМЛ-710Ю4	160	ПМЛ-7211О2	-	-
200	3з+3p	7	ПМЛ-7103О4	160	ПМЛ-7212О2	-	-
200	3з+1p	7	ПМЛ-7103О4	160	ПМЛ-7213О2	-	-
200	5з+1p	7	ПМЛ-7103О4	160	ПМЛ-7214О2	-	-

Таблиця 4.9 Технічні характеристики електромагнітних пускатів ПМ.

Тип	Номинальний струм, А				Потужність трифазних двигунів АС3, кВт				Номинальний струм, А	Контакти	
	АС3	АС4	220 /230В	380/ 400В	415В	440В	500В	660/ 690В			
ПМ1-09	9	3,5	2,2	4	4	4	5,5	5,5	20	3P+NO 3P+NC	
ПМ1-12	12	5	3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	20		
ПМ1-18	18	7,7	4	7,5	9	9	10	10	32		
ПМ2-25	25	8,5	5,5	11	11	11	15	15	40		
ПМ2-32	32	12	7,5	15	15	15	18,5	18,5	50	3P+NO+NC	
ПМ3-40	40	18,5	11	18,5	22	22	22	30	60		
ПМ3-50	50	24	15	22	25	30	30	33	80		
ПМ4-65	65	28	18,5	30	37	37	37	37	80		
ПМ4-80	80	37	22	37	45	45	55	45	125	3P+NO+NC	
ПМ4-95	95	44	25	45	45	45	55	45	125		

4.2.6 Вибір електротеплових реле

Теплові струмові реле призначені для захисту трифазних, асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором від струмів перевантаження недопустимої тривалості, в тому числі від перевантажень, що виникають при обриві однієї з фаз. Реле мають обмежену термічну стійкість при наскрізних струмах короткого замикання. Тому теплові струмові реле застосовують лише спільно із захисними апаратами, які захищають електроустановку від струмів короткого замикання. В сільськогосподарських електроустановках використовують теплові струмові реле типу ТРН, РТЛ, РТТ. Технічна характеристика теплових струмових реле наведена в таблиці 4.10-4.13.

Серію і тип реле, необхідного для захисту електродвигуна від перевантаження, вибирають відповідно до серії і типу магнітного пускача, в який воно вмонтовується, або залежно від характеристики станції керування електроустановкою, в якій реле буде встановлено.

Вибирають теплові струмові реле за умовами:

- за номінальною напругою

$$U_{тр.ном} \geq U_{мер},$$

де $U_{тр.ном}$ - номінальна напруга теплового струмового реле, В;

$U_{мер}$ - напруга мережі, В;

- за номінальним струмом теплового реле:

$$I_{тр.ном} \geq I_{дв.ном},$$

де $I_{тр.ном}$ - номінальний струм теплового реле, А;

$I_{дв.ном}$ - номінальний струм електродвигуна, А;

- за номінальним струмом нагрівного елемента

$$I_{н.е} \geq I_{дв.ном}$$

де $I_{н.е}$ - номінальний струм нагрівного елемента теплового реле, А;

$I_{дв.ном}$ - номінальний струм електродвигуна, А.

Тепловий елемент реле вибирають так, щоб його номінальний струм $I_{н.е}$ якомога менше відрізнявся від тривалого робочого струму електроустановки (номінального струму електродвигуна).

Після вибору реле (під час налагодження) регулятор уставки за струмом неспрацювання потрібно поставити в положення, при якому струм уставки дорівнює номінальному струму двигуна:

$$I_{уст} \geq I_{дв.ном}.$$

Приклад. Вибрати теплове струмове реле КК (враховуючи попередній вибір електромагнітного пускача) для електродвигуна 4AM180M2У3 ($P_n = 30\text{кВт}$, $I_n = 56,2\text{А}$, $\kappa_f=7,5$).

Вибираємо теплове струмове реле за умовами:

- за номінальною напругою:

$$\begin{aligned} U_{тр.ном} &\geq U_{мер}, \\ U_{тр.ном} &\geq 380\text{В}, \end{aligned}$$

- за номінальним струмом теплового реле:

$$\begin{aligned} I_{тр.ном} &\geq I_{дв.ном}, \\ I_{тр.ном} &\geq 56,2\text{А}, \end{aligned}$$

- за номінальним струмом нагрівного елемента:

$$\begin{aligned} I_{н.е} &\geq I_{дв. ном}, \\ I_{н.е} &= 56,2\text{А} \end{aligned}$$

Вибираємо з таблиці 4.10 теплове струмове реле РТЛ-2059О4 з номінальною напругою 660В , струмом реле 80А , номінальним струмом нагрівного елемента 64А . Теплове реле з номінальним струмом нагрівного елемента $I_{не}=64\text{А}$, має діапазон регулювання номінального струму неспрацювання $47...64\text{А}$. Під час наладки регулятор уставки струму неспрацювання реле треба поставити в положення, при якому $I_{уст} = I_{дв.ном}$ тобто $56,2\text{А}$.

Таблиця 4.10 Технічні характеристики теплових струмових реле РТЛ

Тип реле	Номінальний струм реле, А	Діапазон регулювання номінального струму неспрацювання при $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, А	Максимальний струм тривалого режиму при $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, А
РТЛ-1001 О4	25	0,1...0,17	0,17
РТЛ-1002 О4	25	0,16...0,26	0,26
РТЛ-1003 О4	25	0,24...0,4	0,4
РТЛ-1004 О4	25	0,38...0,65	0,65
РТЛ-1005 О4	25	0,61...1,0	1,0
РТЛ-1006 О4	25	0,95...1,6	1,6
РТЛ-1007 О4	25	1,5...2,6	2,6
РТЛ-1008 О4	25	2,4...4,0	4,0

продовження табл. 4.10.

РТЛ-1010 О4	25	3,8...6,0	6,0
РТЛ-1012 О4	25	5,5...8,0	8,0
РТЛ-1014 О4	25	7,0...10,0	10,0
РТЛ-1016 О4	25	9,5...14,0	14,0
РТЛ-1021 О4	25	13...19,0	19,0
РТЛ-1022 О4	25	18...25	25
РТЛ-2053 О4	80	23...32	32
РТЛ-2055 О4	80	30...41	41
РТЛ-2057 О4	80	38...52	52
РТЛ-2059 О4	80	47...64	64
РТЛ-2061 О4	80	54...74	74
РТЛ-2063 О4	80	63...86	86
РТЛ-3105 О4	200	75...105	105
РТЛ-3125 О4	200	90...125	125
РТЛ-3160 О4	200	115...160	160
РТЛ-3200 О4	200	145...200	200

Таблиця 4.11 Технічні характеристики теплових струмових реле ТРН.

Тип реле	Номинальний струм, А	Номинальні струми нагрівальних елементів, А	Кількість полюсів	Діапазон регулювання номінального струму неспрацювання при +40 °С, А	Вид теплових елементів
ТРН-10А	4	0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2	2	0,8...1,25	Незмінні
ТРН-10	10	0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10	2	0,75...1,25 0,75...1	Змінні
ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	2	0,75...1,25 0,75...1	Змінні
ТРН-40	40	12,5; 16; 20; 25; 32 40	2	0,75...1,25 0,75...1	Змінні
ТРН-60	60	20; 25; 32; 40; 50; 60	1	0,75...1,25	Змінні
ТРН-155	110	50; 60; 80; 100; 120	1	0,75...1,25	Змінні
ТРН-155	160	100; 120; 150	1	0,75...1,25	Змінні

Таблиця 4.12 Технічні характеристики теплових струмових реле РТТ

Номінальні сили струму неспрацювання, А	Діапазон регулювання номінального струму неспрацювання при +40 °С, А	Номінальні сили струму неспрацювання, А	Діапазон регулювання номінального струму неспрацювання при +40 °С, А
<i>РТТ-0, I_н = 10А</i>		2	1,7 – 2,3
0,2	0,17 – 0,23	2,5	2,1 – 2,9
0,25	0,21 – 0,29	3,2	2,7 – 3,7
0,32	0,27 – 0,37	4	3,4 – 4,6
0,4	0,34 – 0,36	5	4,25 – 5,75
0,5	0,43 – 0,58	6,3	5,35 – 7,23
0,63	0,54 – 0,72	8	6,8 – 9,2
0,8	0,68 – 0,92	10	8,5 – 11,5
1	0,85 – 1,1	12,5	10,6 – 14,3
1,25	1,1 – 1,4	16	13,6 – 18,4
1,6	1,36 – 1,8	20	17,0 – 23,0
2	1,7 – 2,3	25	21,0 – 25,0
2,5	2,1 – 2,9	<i>РТТ-2, I_н = 63А</i>	
3,2	2,7 – 3,7	10	8,5 – 11,5
4	3,4 – 4,6	12,5	10,6 – 11,5
5	4,25 – 5,75	16	13,6 – 18,4
6,3	5,35 – 7,23	20	17,0 – 23,0
8	6,8 – 9,2	25	21,0 – 28,7
10	8,5 – 10	32	27,2 – 36,8
<i>РТТ-1, I_н = 25А</i>		40	34,0 – 46,0
0,2	0,17 – 0,23	50	42,5 – 57,5
0,25	0,21 – 0,29	63	53,5 – 63,0
0,32	0,27 – 0,37	<i>РТТ-3, I_н = 160А</i>	
0,4	0,34 – 0,36	50	42,5 – 57,5
0,5	0,43 – 0,58	63	53,5 – 72,3
0,63	0,54 – 0,72	80	68,0 – 92,0
0,8	0,68 – 0,92	100	85,0 – 115
1	0,85 – 1,15	125	106 – 143
1,25	1,1 – 1,4	160	136 – 160
1,6	1,36 – 1,8		

Таблиця 4.13 Технічні характеристики електротеплових реле РТИ і РТЛ

РТИ			Втрати в одному полюсі, Вт	Потужність електродвигуна, який захищається, кВт		
Габарити реле за струмом, А	Код виконання	Межі регулювання, А		230В	400В	660В
25	1301	0,1-0,16	2,15			
	1302	0,16-0,25	2,25			
	1303	0,25-0,4	2,05			
	1304	0,4-0,63	1,99			0,37
25	1305	0,63-1,0	2,0			0,75
	1306	1,0-1,6	2,0		0,37	1,1
	1307	1,6-2,5	1,8	0,37	0,75	1,5
	1308	2,5-4,0	1,87	0,75	1,5	3,0
	1310	4,0-6,0	1,84	1,1	2,2	4,0
	1312	5,5-8,0	1,68	1,8	3,0	5,5
	1314	7,0-10,0	1,75	2,2	4,0	7,5
	1316	9,0-13,0	3,0	3,0	5,5	10,0
	1321	12,0-18,0	3,0	4,0	7,5	15,0
	1322	17,0-25,0	3,0	5,5	11,0	18,5
93	3353	23,0-32,0	2,43	7,5	15,0	22,0
	3355	30,0-40,0	3,03	10,0	18,5	30,0
	3357	37,0-50,0	3,3	11,0	22,0	37,0
	3359	48,0-65,0	3,69	15,0	25,0	45,0
	3361	55,0-70,0	4,38	18,5	30,0	55,0
	3363	63,-80,0	5,62	22,0	37,0	55,0
	3365	80,0-93,0	6,9			

4.2.7 Вибір проводів і кабелів силової проводки

Від довговічності і надійності електропроводок залежить безперебійність роботи електроспоживачів, безпека людей.

Вид електропроводки, марку та спосіб прокладання проводу або кабеля вибирають залежно від призначення, цінності та архітектурних особливостей будівлі, умов навколишнього середовища, характеристики та режиму роботи електроприймачів, вимог техніки безпеки та протипожежних правил тощо.

Ізоляція проводів і кабелів в усіх випадках повинна відповідати номінальній напрузі електроустановки, а захисні оболонки - активності навколишнього середовища та способу прокладання.

У сільськогосподарських електроустановках здебільшого використовують проводи і кабелі з алюмінієвими жилами перерізом $2,5 \text{ мм}^2$ та вище. При цьому, як правило, треба застосовувати такі види електропроводок, які не потребують сталених труб. Електропроводку в сталених трубах застосовують лише тоді, коли за умовами зовнішнього середовища або місця прокладання інша проводка недопустима або недоцільна.

Для сільськогосподарських приміщень види електропроводок, марки та способи прокладки проводів і кабелів можна вибрати з табл. 4.16 - 4.21.

Площу поперечного перерізу струмоведучих жил проводу або кабеля в кожному випадку треба вибирати так, щоб тривало допустимий для нього за нагріванням струм навантаження $I_{\text{доп}}$ був не меншим максимального тривалого робочого струму електричного кола $I_{\text{макс.р}}$, тобто:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{макс.р}}$$

Для відгалужень до окремих електроприймачів, що працюють з постійною номінальною споживаною потужністю, за максимальні тривалі робочі струми приймають їх номінальні струми, тобто:

$$I_{\text{макс.р}} = I_{\text{ном}}$$

Номінальні струми визначають:

- для однофазних споживачів:

$$I_n = \frac{10^3 P_n}{U_n \cos \varphi}$$

- для трифазних споживачів:

$$I_n = \frac{10^3 P_n}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}$$

- для трифазних короткозамкнених електродвигунів:

$$I_n = \frac{10^3 P_n}{\sqrt{3} U_n \eta \cos \varphi}$$

Максимальний робочий струм магістралі, від якої живиться кілька електроприймачів, визначають за формулою:

$$I_{\text{макс.р}} = K_o \sum_1^n I_{\text{ном}}$$

де K_o - коефіцієнт одночасності роботи приймачів;

$\sum_1^n I_{\text{ном}}$ - сума номінальних струмів усіх приймачів, А.

Коефіцієнти одночасності K_o наведені в табл. 4.14

Таблиця 4.14 Значення коефіцієнта одночасності

Кількість споживачів	2...3	4...5	6...7	8...10	11... 15	16.20	21...30
K_o	0,85...0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5

Вибраний за нагрівом провід або кабель необхідно перевірити на відповідність його перерізу апарату захисту за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq K_z I_z$$

де K_z - кратність допустимого тривалого струму провідника по відношенню до номінального струму або струму спрацювання захисного апарату. (Для автоматичних вимикачів з тепловим розчіплювачем $K_z = 1$, а для автоматичних вимикачів, які мають лише електромагнітний розчіплювач $K_z = 0,22$);

I_z – сила номінального струму або струму спрацювання захисного апарату. (Для автоматичних вимикачів з тепловим розчіплювачем $I_z = I_{\text{ном.розч.}}$, а для автоматичних вимикачів, які мають

лише електромагнітний розчіплювач $I_z = I_{уст.е}$) При цьому вважається, що умови прокладання проводу (кабеля) нормальні.

Таблиця 4.15 Значення коефіцієнта K_z

Значення струму захисного апарата	Кратність допустимих тривалих навантажень			
	мережі, для яких захист від перевантаження обов'язковий			мережі потребують захисту від перевантажень
	провідники з гумовою ізоляцією або аналогічною		кабелі з паперовою ізоляцією	
	вибухонебезпечні пожежонебезпечні приміщення	невибухонебезпечні і непожежонебезпечні приміщення		
Номінальний струм плавкої вставки запобіжника	1,25	1,0	1,0	0,33
Струм уставки автомата, який має лише електромагнітний розчіплювач	1,25	1,0	1,0	0,22
Номінальний струм автомата з нерегульованою характеристикою	1,0	1,0	1,0	1,0
Струм зрушення автомата з регульованою характеристикою	1,0	1,0	0,8	0,66

Визначивши площу перерізу проводу (кабеля) за двома умовами, вибирають більшу. При цьому потрібно враховувати, що ПУЕ - 86 дозволяє при виборі площі перерізу за другою умовою, приймати найближчий менший переріз.

Приклад. Вибрати провід чи кабель для електродвигуна 4АМ180М2У3 ($P_n = 30\text{кВт}$, $I_n = 56,2\text{А}$, $\kappa_t = 7,5$).

Для живлення електродвигуна можна використати кабель АВРГ. Марку та спосіб його прокладки приймаємо з урахуванням умов навколишнього середовища, техніки безпеки та протипожежних правил.

Вибір площі поперечного перерізу струмопровідних жил кабелю виконуємо за умовою, щоб вони не нагрівались максимальним тривалим робочим струмом:

$$I_{доп} \geq I_{макс.р}$$

Для відгалужень для окремих електроприймачів, що працюють з постійною номінальною споживаною потужністю, за максимальні тривалі робочі струми приймають їх номінальні струми, тобто в даному випадку номінальний струм електродвигуна:

$$I_{дон} \geq 56,2A$$

Приймаємо з таблиці 4.16 та 4.20 та кабель *АВРГ (3х16+1х10)* з $I_{дон} = 60A$, прокладений по стіні з кріпленням за допомогою скоб.

Таблиця 4.16 Проводи та кабелі для внутрішніх електропроводок

Марки	Назви і характеристики виробів	Переважає застосування	Кількість жил	Площа поперечного перерізу, мм ²
1	2	3	4	5
АПРН	Провід з алюмінієвою жилою, гумовою ізоляцією, в неспалимій гумовій оболонці	Для прокладання у сухих і вологих приміщеннях, пустотних каналах неспалимих будівельних конструкцій, а також на відкритому повітрі	1	2,5-120
ПРН	Те ж, з мідною жилою	Те ж	1	1,5-120
ПРГН	Провід з мідною гнучкою жилою, гумовою ізоляцією, в неспалимій гумовій оболонці	При монтажі і для з'єднання рухомих частин електричних машин в сухих і вологих приміщеннях, а також на відкритому повітрі	1	1,5-120
АПРИ	Провід з алюмінієвими жилами, гумовою ізоляцією, що має захисні властивості	Для відкритого прокладання в сухих і вологих приміщеннях	1	2,5-120
ПРИ	Провід з мідною жилою, гумовою ізоляцією, що має захисні властивості	Для відкритого прокладання в сухих і вологих приміщеннях	1	0,75-120
ПРГИ	Те ж, з мідною гнучкою жилою	При монтажі і для з'єднання рухомих частин електричних машин в сухих і вологих приміщеннях	1	0,75-120

продовження табл. 4.16.

1	2	3	4	5
АППР	Провід з алюмінієвими жилами, гумовою ізоляцією, що не поширює горіння, з роздільною основою	Для прокладання по дерев'яних поверхнях і конструкціях жилих і виробничих с/г приміщеннях, включаючи тваринницькі та птахівницькі	2;4; 3	2,5-10
АПВ	Провід з алюмінієвою жилою, з полівініл-хлоридною ізоляцією	Для монтаж вторинних кіл, прокладання в требах, порожнистих каналах неспалимих будівельних конструкцій і для монтажу силових та освітлювальних кіл	1	2,0-120
ПВ1	Те ж, з мідною жилою	Те ж	1	0,5- 95
ПВ2	Те ж, з мідною гнучкою жилою	Для монтажу вторинних кіл, та монтажу, що супроводжується частими згинаннями при схованому і відкритому прокладанні	1	2,0-95
ПВ-3	Провід з мідною жилою, з полівініл-хлоридною ізоляцією, підвищеної гнучкості	Те ж	1	0,5- 95
ПВ-4	Те ж, з мідною жилою, особливо гнучкий	Те ж	1	0,5- 10
АППВ	Провід з алюмінієвими жилами у полівініл-хлоридній ізоляції, плоский з розподільною основою	Для монтаж силових і освітлювальних кіл в машинах і верстатах, відкритого і схованого прокладання під штукатуркою, прокладання в трубах і пустотних каналах неспалимих будівельних конструкцій	2; 3	2-6
ППВ	Те ж, з мідною жилою	Те ж	2; 3	0,75-4
АРТ	Провід з алюмінієвими жилами, гумовою ізоляцією, несучим тросом	Для прокладання всередині приміщень, в межах, де потрібна підвищена механічна міцність	2 3 4	2,5-4 4-6 4-35

продовження табл. 4.16.

1	2	3	4	5
АВТ	Провід з алюмінієвими жилами, ізоляцією з полівініл хлоридного пластику, несучим тросом	Для прокладання зовні (для вводу в житлові будинки та господарські будівлі) в I і II районах за ожеледдю	2,3 4	2,5-4 2,5-16
АВТУ	Те ж, з підсиленням несучим тросом	Те ж, в III і IV районах за ожеледдю	2,3 4	2,5-4 2,5-16
АВТВ	Провід з алюмінієвими жилами, ізоляцією з полівініл хлоридного пластику, несучим тросом для внутрішнього прокладання	Для прокладання всередині приміщень (в том числі тваринницьких) в межах, де потрібна підвищена механічна міцність	2,3 4	2,5-4 2,5-16
АВТВ У	Те ж, з підсиленням несучим тросом	Те ж	2,3 4	2,5-4 2,5-16
АМПІВ	Провід установочний з алюмінієвою жилою і полівінілхлоридною ізоляцією	Для монтажу вторинних кіл, прокладання в трубах, пустотних каналах неспалимих будівельних конструкцій і монтажу силових та освітлювальних кіл в машинах і верстатах	1	1,5-10
АМПП В	Те ж, плоский з роздільною основою	Для монтажу силових і освітлювальних кіл в машинах і верстатах і для нерухомого відкритого прокладання	2;3	1,5-6
ВІПВ	Провід установочний з мідною жилою, поліетиленовою ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці	Для живлення водозапоблених заглиблених електродвигунів, що тривало працюють у артезіанських скважинах	1	1,5-70
ВІПП	Те ж, в поліетиленовій оболонці	Те ж	1	1,5-70
КГ	Кабель з мідними жилами, гумовою ізоляцією, в гумовій оболонці	При вигинах з радіусом не менше восьми діаметрів кабеля при температурі навколишнього середовища -40— +50°C	1 основна 2 і 3 основні 2 і 3 основні 1 заземлення	2,5-120 0,75-120 0,75-120

продовження табл. 4.16.

1	2	3	4	5
КГН	Те ж, в гумовій, стійкій проти дії масла ізоляції, що не поширює горіння	При вигинах з радіусом не менше восьми діаметрів кабеля; якщо на оболонку можуть потрапити дезінфікуючі та агресивні речовини, а також масла; при температурі навколишнього середовища -40- +50°C	1 основна 2 і 3 основні 2 і 3 основні 1 заземлення	2,5-120 0,75-120 0,75-120
КПГ	Кабель з мідними жилами, підвищеної гнучкості, з гумовою ізоляцією, в гумовій оболонці	При вигинах з радіусом не менше п'яти діаметрів кабеля; при температурі навколишнього середовища -50— +50°C	2 основні 2 і 3 основні і 1 заземлення	0,75-70 0,75-70
КПГН	Кабель з мідними жилами підвищеної гнучкості, гумовою ізоляцією, в гумовій, стійкій проти дії масла оболонці, що не поширює горіння	При вигинах з радіусом не менше п'яти діаметрів кабеля; якщо на оболонку можуть потрапити дезінфікуючі та агресивні речовини, а також масла: при температурі навколишнього середовища -30—+50 °C	3 основні і 1 заземлення 3 основні, 1 заземлення і 1 допоміжна	1,5-10 1,5-10
АВРГ	Кабель з алюмінієвими жилами, гумовою ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці	Для прокладання в приміщеннях, каналах, тунелях при відсутності механічних дій на кабель і наявності агресивних середовищ (кислот, лугів та ін.)	1 2 і 4	4-300 2,5-300
ВРГ	Те ж, з мідними жилами	Те ж	1; 2; 3; 4	1-240
АНРГ	Кабель з алюмінієвими жилами, гумовою ізоляцією, в гумовій, стійкій проти дії масла оболонці, що не поширює горіння	Для прокладання в приміщеннях, каналах, тунелях при відсутності механічних дій на кабель	1 2 і 4	4-300 2,5-300

продовження табл. 4.16.

1	2	3	4	5
НРГ	Те ж, з мідними жилами	Те ж	1; 2; 3; 4	1-240
АВРБГ	Кабель з алюмінієвими жилами, гумовою ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці, захисне покриття типу БГ	Для прокладання в приміщеннях, каналах, тунелях, якщо кабель не зазнає значних розтягувальних зусиль	2 3	4-240 2,5-240
ВРБГ	Те ж, з мідними жилами	Те ж	2; 3	2,5-185
АВВГ	Кабель силовий з алюмінієвими жилами, ізоляцією і оболонкою з полівінілхлоридного пластику	Для прокладання в пожежо-небезпечних приміщеннях, каналах і тунелях, у тому числі в умовах агресивного середовища, при відсутності механічних дій на кабель	1; 2; 3 і 4	2,5-50

Таблиця 4.17 Види електропроводок і способи прокладки проводів і кабелів залежно від умов навколишнього середовища

Види	Категорія приміщення					
	сухі	запилені	вологі	вогкі	особливо вогкі	Особливо вогкі з хімічно активним середовищем
Відкрито по негорючих конструкціях і безпосередньо по поверхні	АПВ, АППВ, АПРН, АВРГ, АВВГ, АНРГ, АНРГ	АПВ, АППВ, АВРГ, АВВГ, АНРГ, АПВГ	АПВ, АППВ, АПРН, АВРГ, АВВГ, АНРГ	АПВ, АППВ, АПРН, АВРГ, НПРВ, АНРГ	АПВ, АППВ, АПРН, АВРГ, АВВГ, АПРГ	АПВ, АППВ, АВРГ, АВВГ, АПВГ
У вінілпластових і сталевих трубах	АПВ, АПР, АПРВ, АПРТО, АПРН, АППВ	АПВ, АПР, АПРТО, АПВВ	АПВ, АПРН, АПРТО, АППВ	АПВ, АПРВ, АПРН, АПРТО	АПВ, АПРВ, АПРТО, АППВ	АПВ, АРТО, АПРТО, АПРН

продовження табл. 4.17.

1	2	3	4	5	6	7
На тросах із тросовими проводами	АПВ, АПРН, АПРВ, АРТ, АВТВ, АВРГ, АВВГ, АПВГ	АПВ, АПРН, АРТ, АВТВ, АВРГ, АВВГ, АПВГ	АПВ, АПРН, АРТ, АВТВ, АВРГ, АВВГ, АНРГ	АПВ, АПРВ, АВТВ, АПРН, АРТ, АВВГ, АНРГ	АПВ, АПРН, АРТ, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ	АПВ, АРТ, АВТВ, АВРГ, АНРГ, АВВГ
Сховано по негорючих і погано горючих поверхнях	АПВ, АППВ	АПВ, АППВ	АПВ, АППВ	АПВ, АППВ	АПВ, АППВ	
У будівельних каналах	АПВ, АПР, АППВ, АПРВ	АПВ, АПР, АППВ, АПРВ	АПВ, АНР, АППВ, АПРВ	АПВ, АППВ,	АПВ, АППВ,	
У вінілпластових і сталевих трубах	АПВ, АПР, АПРН, АПРВ, АПВГ	АПВ, АПР, АПРН, АПРВ, АПВГ	АПВ, АПР, АПРВ, АПВГ	АПВ, АПРТО	АПВ, АПРТО	АПВ, АПРТО

Таблиця 4.18 Тривало допустимі сили струму для проводів і шнурів з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією і мідними жилами

Площі поперечного перерізу струмо-ведучих жил, мм ²	Сили струму, А, для проводів, прокладених					
	в одній трубі					
	відкрито	двох одножильних	трьох одножильних	чотирьох одножильних	одного дво-жильного	одного трижильного
1	2	3	4	5	6	7
0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1	2	3	4	5	6	7
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21

продовження табл. 4.18.

3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250

Таблиця 4.19 Тривало допустимі сили струму для проводів з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією і алюмінієвими жилами

Площі поперечного перерізу струмоведучих жил, мм ²	Сили струму, А, для проводів, прокладених					
	відкрито	в одній трубі				
		двох одножилевих	трьох одножилевих	чотирьох одножилевих	одного двожильного	одного трижильного
1	2	3	4	5	6	7
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	30	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	250	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190

Таблиця 4.20 Тривало допустимі сили струму для проводів з мідними жилами і гумовою ізоляцією в металевих захисних оболонках та кабелів з мідними жилами і гумовою ізоляцією в свинцевій,

полівінілхлоридній, іайритовій або гумовій оболонці, броньованих і неброньованих

Площі поперечного перерізу струмоведучих жил, мм ²	Сили струму, А, для проводів і кабелів.				
	одножи- льних	двожильних		трижильних	
при прокладанні					
відкрито	відкрито	в землі	відкрито	в землі	
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385

Таблиця 4.21 Тривало допустимі сили струму для кабелів з алюмінієвими жилами і гумовою або пластмасовою ізоляцією в свинцевій, полівінілхлоридній та гумовій оболонках, броньованих і неброньованих

Площі поперечного перерізу струмоведучих жил, мм ²	Сили струму, А, для проводів і кабелів.				
	одножи- льних	двожильних		трижильних	
при прокладанні					
відкрито	відкрито	в землі	відкрито	в землі	
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295

Список літератури

1. ГОСТ 2.119-73 ЕСКД «Эскизный проект».
2. Фоков К.И. Электрические аппараты: Методическое пособие к выполнению курсового проекта. – Хабаровск: ДВГУПС, 2000 – 37 с.
3. Загирняк М.В., Кузнецов Н.И. Электрические аппараты: Учебное пособие. – Кременчуг: КГПУ, 2005. – 320 с.
4. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: Учебник для техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 304 с.
5. Сахаров Г.В. Проектирование электрических аппаратов (Общие вопросы проектирования): Учебное пособие для студентов электротехнических вузов. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.
6. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
7. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов – Руководство пользователя. – С.Пб.: Производственный кооператив ТОР, 2007. – 297 с.
8. Курсове і дипломне проектування: Навчальний посібник / П.С.Кашенко, О.І.Біленко, О.А.Устименко, Н.В. Ходосолва, Н.О. Малюжко, О.В. Малай, А.О. Стогній, В.Г. Устименко, Т.А. Медведєва. – К., 2008. – 502с.
9. Довідник сільського електрика / В.С. Олійник, В.М. Гайдук, В.Ф. Гончар та ін.; за ред. В.С. Олійника – 3 вид. перероб. і доп. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.

Структура курсової роботи

Таблиця А. Структура курсової роботи

Склад курсової роботи	Кількість сторінок
Титульна сторінка	1
Завдання на курсову роботу	1
Зміст	1
Вступ	1-2
1. Проектування електромагніта	25-35
2. Попередній розрахунок ядра електромагніта	
3. Розробка конструкції електромагніта	
4. Проектний розрахунок основних параметрів електромагніта	
5. Знаходження проектних параметрів котушки	
6. Розрахунок теплового режиму обмотки	
7. Комп'ютерне моделювання електромагніта	
8. Висновки	
9. Спеціальне питання	
Список літератури	1-2
Додатки	1-2

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-6.01

КИРОВОГРАДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(повне найменування вищого навчального закладу)

Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент

(повна назва кафедри, циклової комісії)

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ (РОБОТА)

з Апарати керування та захисту

(назва дисципліни)

на тему: Розрахунок електромагніту постійного струму

Студента (ки) _____ курсу _____ групи
напряму підготовки _____
спеціальності _____

(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії _____ - _____
(підпис) (прізвище та ініціали)
_____ - _____
(підпис) (прізвище та ініціали)
_____ - _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Кіровоград – 201__ рік

Назва навчального закладу: КНТУ

Кафедра: ЕТС

Дисципліна: “Апарати керування і захисту”

Спеціальність: 6.100101 “Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі”

Курс

Група

Семестр

ЗАВДАННЯ

на курсову роботу студенту

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

2. Строк здачі студентом закінченого проекту:

3. Вихідні дані до проекту (роботи):

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Дата видачі завдання

Календарний план

№ п/п	Назва етапів курсового проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки

Студент _____
(підпис)

Керівник _____
(підпис) (прізвище, ім'я, по батькові)

“ ____ ” _____ 20__ р.

Методичні вказівки до курсової роботи для студентів денної та заочної форми навчання за напрямком 6.100101 «Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі»

Укладач: ст. викл., к.т.н. Р.В. Телюта.

Підписано до друку __.__.20__. Здано до тиражування __.__.20__.

Формат 60x86 1/16. Ум. друк. арк. 2,8. Тираж __ прим. Зам. № __/20__

© РВЛ КНТУ, м. Кіровоград, пр. Університетський 8, т. 390-541.