

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**



ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ АПВ

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт

СУМИ – 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем**

ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ АПВ

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт

**для здобувачів 4 та 2 с.т. курсу
освітньої програми**

**«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «Бакалавр»**

СУМИ – 2025

УДК 621.311
О 72

Укладачі:

Савойський О. Ю., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем;

Чепіжний А. В., к.т.н., доцент, завідувач кафедрою енергетики та електротехнічних систем;

Вольвач Т. С., асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем;

Лисенко В. В., завідувач навчально-методичним кабінетом кафедри енергетики та електротехнічних систем.

О 72 Основи проєктування енергетичних об'єктів АПВ: методичні вказівки щодо виконання практичних робіт / укл.: О. Ю. Савойський, А. В. Чепіжний, Т. С. Вольвач, В. В. Лисенко. - Суми, 2025. – 53 с.

Методичні вказівки спрямовані на надання методичної допомоги здобувачам під час виконання лабораторно-практичних робіт. Містять загальні методичні рекомендації, практичні завдання та питання для самоконтролю знань. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт призначені для здобувачів ступеню вищої освіти «Бакалавр» освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Рецензенти:

Кравченко В. О., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Тарельник Н. В., к.е.н., доцент, доцент кафедри проєктування технічних систем СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, завідувач кафедрою енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету СНАУ. Протокол №4 від «28» січня 2025 року

© Сумський національний
аграрний університет, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН.....	7
Практичне заняття №1. Оформлення текстового та графічного матеріалів проекту, особливості їх виконання	8
Практичне заняття №2. Розробка схеми електричної принципової керування технологічним процесом	15
Практичне заняття №3. Розробка схеми електричної з'єднань	19
Практичне заняття №4. Розробка схеми електричної підключень	22
Практичне заняття №5. Вибір провідників внутрішньої цехової силової мережі.....	25
Практичне заняття №6. Вибір апаратури комутації та захисту.....	30
Практичне заняття №7. Вибір запобіжників для захисту електроприймачів	35
Практичне заняття №8. Перевірки захисних апаратів на чутливість та комутаційну здатність	39
Практичне заняття №9. Проектування системи електропостачання об'єкту	46
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	53

ВСТУП

Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з освітнього компонента «Основи проєктування енергетичних об'єктів АПВ» призначені для студентів освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» і спрямовані на розвиток практичних навичок у проєктуванні енергетичних об'єктів автоматизованих і перспективних виробництв. Метою практичних робіт є ознайомлення студентів з основними принципами та методами проєктування, що дозволяють забезпечити ефективне та безпечне функціонування енергетичних систем у різних галузях промисловості.

Завдяки виконанню практичних завдань студенти отримають цілісне розуміння процесів проєктування енергетичних об'єктів, а також набути навичок застосування теоретичних знань на практиці. У ході виконання робіт будуть розглянуті основні етапи проєктування, вибір та розрахунок елементів енергетичних систем, а також методи оптимізації енергетичних об'єктів для забезпечення їх надійності, ефективності та енергозбереження.

Ці методичні вказівки також покликані допомогти студентам освоїти програмне забезпечення, яке широко використовується в проєктуванні енергетичних систем, і дати практичні рекомендації щодо роботи з технічними та нормативними документами, що регламентують проєктування енергетичних об'єктів.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

№ з/п	Тема практичного заняття	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Оформлення текстового та графічного матеріалів проєкту, особливості їх виконання.	2	2
2	Розробка схеми електричної принципової керування технологічним процесом	4	2
3	Розробка схеми електричної з'єднань	4	2
4	Розробка схеми електричної підключень	2	2
5	Вибір провідників внутрішньої цехової силової мережі	4	2
6	Вибір апаратури комутації та захисту	4	2
7	Вибір запобіжників для захисту електроприймачів	2	-
8	Перевірки захисних апаратів на чутливість та комутаційну здатність	4	2
9	Проектування системи електропостачання об'єкту	2	2
	Разом годин:	28	16

Практичне заняття №1.

Оформлення текстового та графічного матеріалів проєкту, особливості їх виконання

Навчальний час: 2 години.

Мета заняття: ознайомлення з основами оформлення текстового та графічного матеріалів проєкту, а також з основними вимогами щодо їхнього виконання відповідно до стандартів і норм..

Програма заняття:

1. Ознайомитися з форматами аркушів та основними написами.
2. Ознайомлення з основними правилами оформлення текстового матеріалу;
3. Ознайомлення з основними правилами оформлення графічного матеріалу.

Основні теоретичні відомості

Формати і основні написи. Проєкт виконується на аркушах певних розмірів, які носять назви форматів. Формати аркушів визначаються розмірами зовнішньої рамки аркуша (рисунок 1.1). Основні формати, їх позначення і розміри наведені в таблиці 1.1.

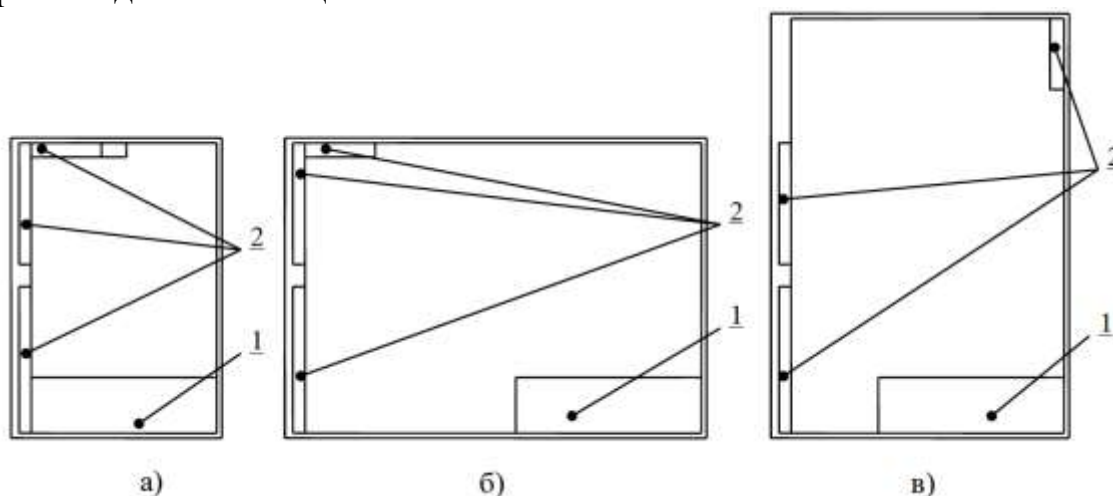


Рисунок 1.1 – Розташування основного напису та додаткових граф на стандартних форматах: а – формат А4; б – формат (А3) більше А4 з основним написом вздовж довшої сторони аркуша; в – формат (А3) більше А4 з основним написом вздовж короткої сторони листа; 1 – основний напис; 2 – додаткові графи.

Таблиця 1.1 – Формати листів та їх позначення

Позначення формату	A0 (44)	A1 (24)	A2 (22)	A3 (12)	A4 (11)
Розміри сторін формату, мм	1189×841	594×841	594×420	297×420	297×210

Проєкти супроводжуються основним написом. Основні написи розміщують у правому нижньому куту документа. На аркушах формату А4 основні написи розміщують тільки уздовж короткої сторони аркуша, тобто

формат А4 завжди має вертикальне розташування. Зміст граф і розміри основних написів наведені на рисунках 1.2 і 1.3.

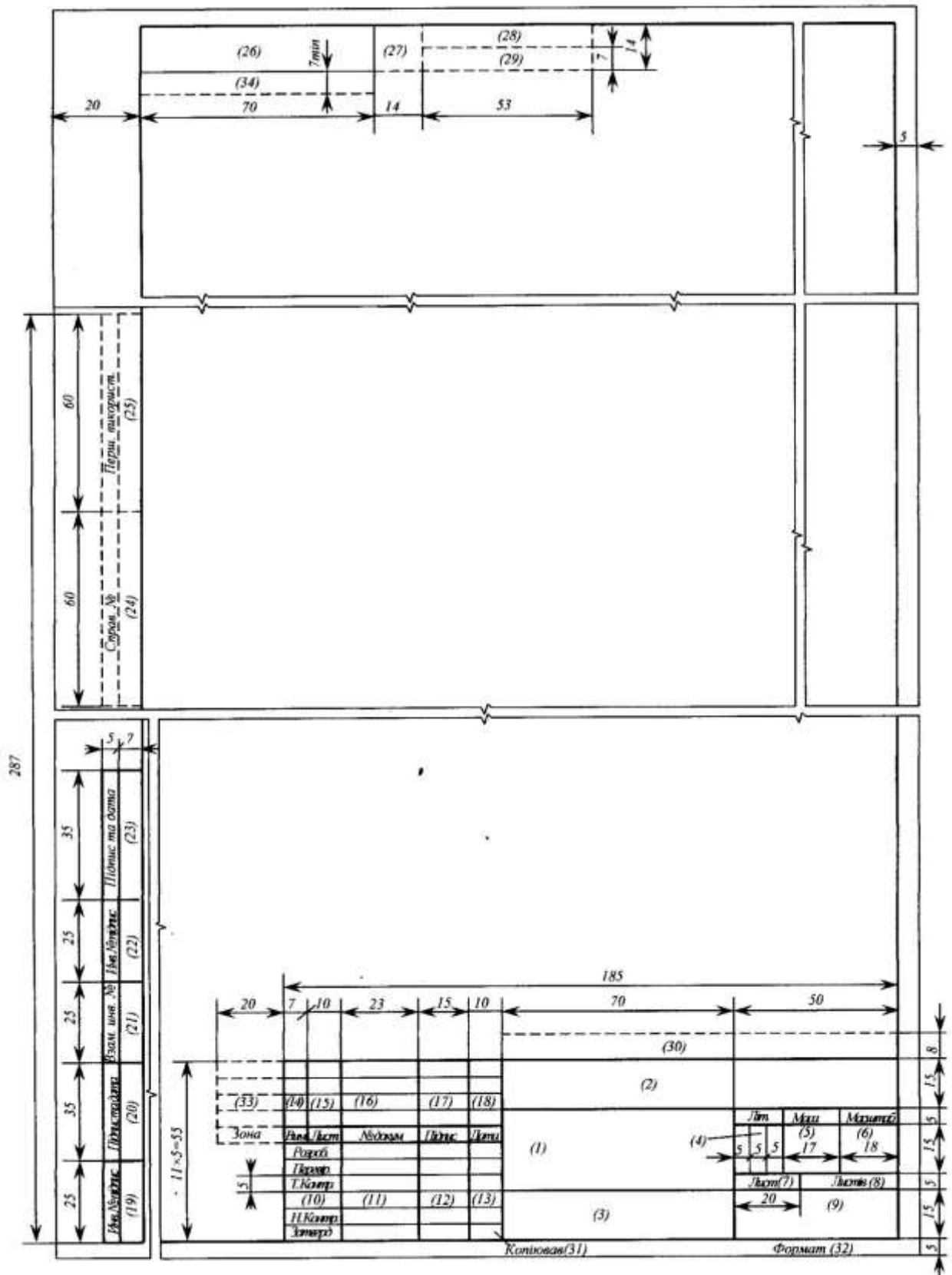


Рисунок 1.2 – Основний напис і додаткові графи для креслень схем

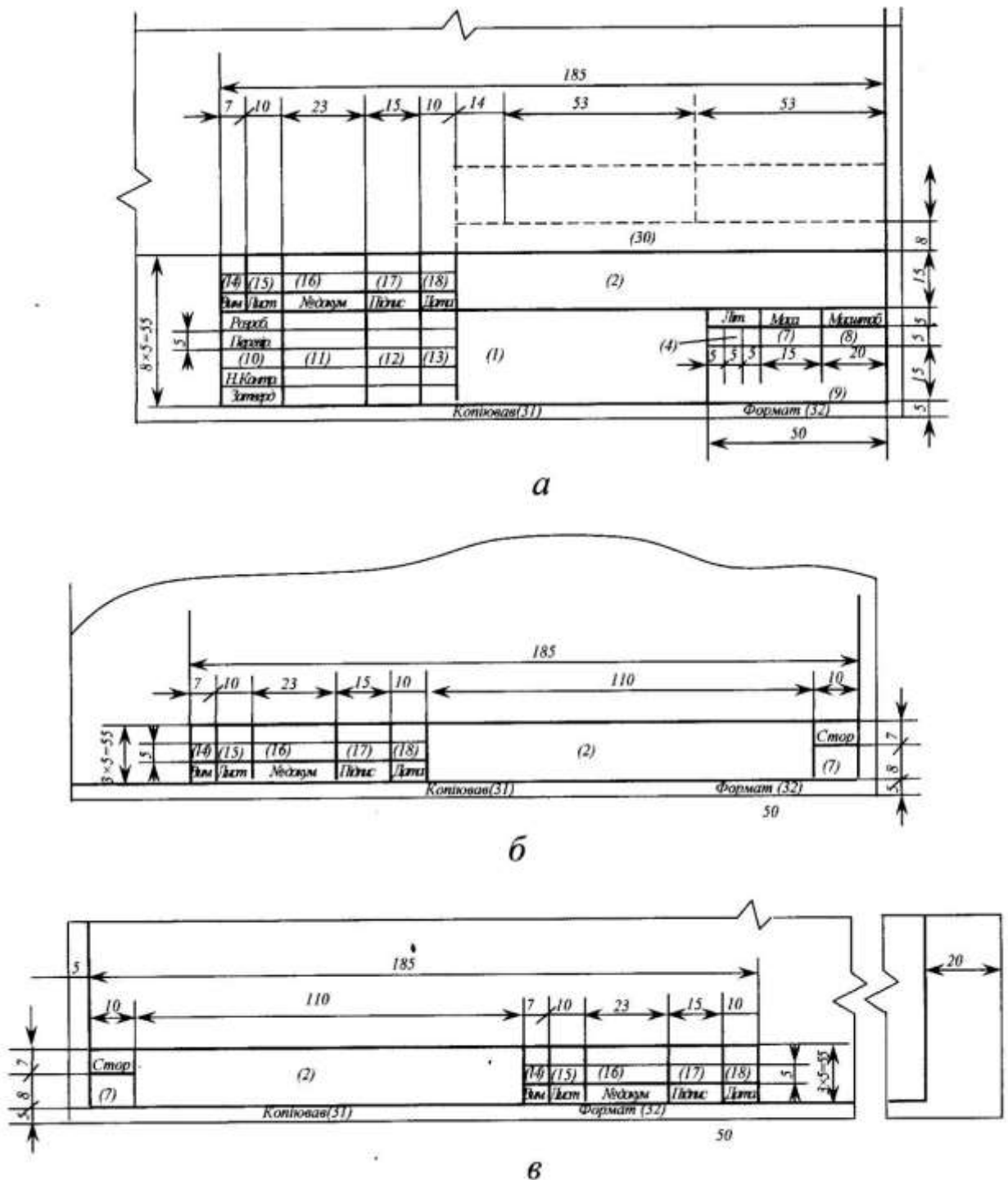


Рисунок 1.3 – Форми основного напису: а – основний напис для першого листа текстового документа (форма 2); б – основний напис для подальших листів креслень, схем і текстових документів (форма 2а); в – основний напис для подальших аркушів текстових документів при двосторонньому світлокопіюванні (форма 2б).

На рисунку 1.2 показаний основний напис (форма 1), який застосовується для креслень і схем. На рисунку 1.3,а – основний напис за формою 2 для першого аркуша текстових документів, а на рисунку 1.3,б – для наступних аркушів креслень, схем і текстових документів. Форма 2б (рис. 1.3,в) – для текстових документів, які друкують з двох боків аркуша.

Правила виконання текстових документів. Текстові документи проєкту виконуються на форматі А4. Текстові документи можуть бути виконані машинописним, типографським способом і із застосуванням друкованих і графічних пристроїв виведення ЕОМ.

Побудова документа. Розділи нумеруються арабськими цифрами без крапки, записуються з абзацного відступу великими літерами без переносу слів. Кожний розділ текстового документа рекомендується починати з нового аркуша (сторінки).

Підрозділи мають нумерацію у межах кожного розділу. Номер підрозділу складається із номерів розділу і підрозділу, розділені крапкою. Аналогічно з підрозділами нумеруються пункти і підпункти. Найменування підрозділів, пунктів, підпунктів виконується малими літерами, починаючи з великої. Крапки у кінці найменувань розділів, підрозділів не ставлять.

Пункти, при необхідності можуть бути розбиті на підпункти, які повинні мати порядкову нумерацію у межах кожного пункту, наприклад: 1.1.1.1; 1.2.1.1; 1.2.1.2 і т. ін.).

У середині пунктів або підпунктів можуть бути наведені переліки. Перед кожною позицією переліку слід ставити дефіс або при необхідності посилання в тексті документа на один із переліків, малу літеру, після якої ставлять дужки. При подальшій деталізації переліків використовують арабські цифри. Кожний пункт, підпункт і перелік записуються з абзацу.

У документі великого об'єму розміщують зміст, що містить номери і найменування розділів і підрозділів із зазначенням номерів аркушів (сторінок).

Зміст включають у загальну кількість сторінок даного документа. Слово «ЗМІСТ» записується у вигляді заголовку (симетрично тексту) великими літерами. Найменування розділів і підрозділів змісту записується малими літерами, починаючись з великої.

У кінці текстового документа (розрахунково-пояснювальної записки кваліфікаційного (бакалаврського) проєкту наводять «СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ», яка була використана під час його складання.

Викладення тексту документів. Текст документа повинен бути стислим, чітким і не допускати різних тлумачень.

У документах повинні застосовуватись технічні терміни, позначення і визначення, встановлені відповідними стандартами, а в разі їх відсутності – загальноприйнятими у науково-технічній літературі.

У тексті документа не допускається:

- застосовувати обороти розмовної мови, техніцизми, професіоналізми;
- застосовувати для одного і того ж поняття різні технічні терміни, близькі за значенням (синоніми);
- застосовувати довільні словотворення;
- застосовувати скорочення слів, окрім вставлених відповідними державними стандартами.

У тексті документа, за винятком формул, таблиць і рисунків, не допускається:

- скорочувати позначення одиниць фізичних величин, якщо вони вживаються без цифр;
- застосовувати індекси стандартів, технічних умов та інших документів без реєстраційного номера.

Найменування команд, режимів, сигналів і т. ін. у тексті слід виділяти лапками, наприклад «Сигнал +27 включено».

Одиниця фізичної величини одного і того ж параметра у межах одного документа повинна бути постійною.

Якщо у тексті наводять діапазон числових значень фізичної величини, то позначення одиниці вимірювання указуються після останнього числового значення діапазону.

Числові значення величин слід вказувати із ступенем точності, яка необхідна для забезпечення потрібних властивостей виробу, при цьому у ряду величин здійснюється вирівнювання числа знаків після коми. Наприклад: 0,25; 1,50; 1,75; 2,00 В.

Під час написання формул в якості символів слід застосовувати стандартні позначення. Пояснення символів і числових коефіцієнтів, що входять у формулу, якщо вони не пояснені раніш у тексті, повинні бути наведені безпосередньо під формулою у послідовності, в якій вони наведені у формулі.

У кінці пояснення символів повинні бути вказані одиниці виміру. Застосування машинописних і рукописних символів в одній формулі не допускається.

Переносити формули на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій («+», «-», «×», «÷», «=»), причому знак на початку наступного рядка повторюють.

Нумерація формул може бути наскрізною (1,2 і т. ін.) або за тим, до якого розділу належить (1.1; 1.2 і т. ін.). Формули, що розміщені у додатках, позначаються буквою і порядковим номером формули у даному додатку, наприклад (B1; B2 або B1.2 і т. ін.).

Посилання у тексті на порядковий номер формули надають у дужках, наприклад: «... у формулі (1.1)».

Оформлення ілюстрацій. Ілюстрації можуть розміщуватись за текстом, у кінці його або у додатку. Ілюстрації нумерують арабськими цифрами крізною нумерацією або за власністю до розділу. У додатках перед номером рисунку додається відповідна буква додатку.

При посиланнях на ілюстрації слід писати «... відповідно рисунку 2», «... відповідно рисунку 2.1» і т. ін.

Ілюстрації при необхідності, можуть мати найменування і пояснювальні дані (підрисуночний текст). Ілюстрація позначається словом «Рисунок», яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад, «Рисунок 3.1 – Схема розміщення».

На електричних схемах, що приводяться у документі, вказують для кожного елемента його позиційне позначення, встановлене відповідним стандартом, і при необхідності номінальне значення величини.

Оформлення додатків. У склад додатків можуть входити графічний матеріал, таблиці великого формату, розрахунки, опис апаратури і приладів, програма для розв'язання задач на ЕОМ і т. ін.

Додатки можуть бути обов'язковими і інформаційними. Інформаційні додатки можуть бути рекомендованого або довідкового характеру. На усі додатки у тексті повинні бути посилання (додаток А).

Кожний додаток слід починати з нової сторінки із зазначенням наверху посередині, слова «Додаток» і його зазначення, а під ним у дужках вказують належність до обов'язкового або інформаційного типу: «обов'язкове», «рекомендоване» або «довідкове».

Додаток повинен мати заголовок, який записується симетрично тексту великими літерами. Додаток позначають великими літерами алфавіту, починаючи з А.

Побудова таблиць. Назву таблиці розміщують над нею після слова «Таблиця» і порядкового її номера. При переносі таблиці на ту ж або інші сторінки, назву розміщують тільки над першою частиною. На наступних сторінках вказують «Продовження таблиці». Нумерація таблиць може бути або крізною, або за належністю до розділів, а також за належністю до додатків «Таблиця 1»; «Таблиця 1.1», «Таблиця В1». При діленні і переносі таблиці на іншу сторінку допускається її головку або боковину замінити відповідно номером граф і рядків. При переносі таблиці нижню горизонтальну лінію, що обмежує таблицю у першій частині не проводять. Графу «№ п/п» в таблицю включати не допускається.

При діленні таблиці на частини і розміщення по рядах на одній сторінці, необхідно повторювати головку таблиці. Допускається частини таблиці поділяти подвійною лінією товщиною 2S.

Правила виконання графічного матеріалу. Графічна частина проєкту включає: схеми генеральних планів; технологічні плани; компоувальні плани; схеми, креслення загальних виглядів, деталей, а також іншу графічну документацію, передбачену завданням на проєктування.

Графічний матеріал виконується олівцем, тушшю, або за допомогою програмного забезпечення ПЕОМ на креслярському папері.

У частині форматів, масштабів, зображень і загальних вимог графічний матеріал повинен відповідати стандартам.

Значення номінальних розмірів і інших параметрів повинні відповідати рядам переважних чисел, номінальним лінійним розмірам, кутам, конусам, зазначеним у чинних держстандартах.

Кожне креслення графічної частини виконується на відповідному форматі і повинне мати назву.

Графічна частина дипломного проєкту, як правило, складається з електричної, структурної та електричних принципових схем вузлів, з'єднань та підключень, алгоритму роботи системи, кінематичних схем, складальних креслень (при необхідності), креслень загального вигляду та ін.

Креслення, плакати, діаграми, графіки являють собою тільки ілюстративний матеріал.

Кожен аркуш графічної частини повинен мати рамку робочого поля і основні написи. На плакатах основний напис розміщують з тильної сторони у відповідному місці (справа-внизу).

Кожна схема повинна мати назву, яка визначається назвою її виду і типу, наприклад, Схема електрична принципова Назву схеми вписують в графу 1 основного напису після назви виробу, для якого розроблена схема і шрифтом меншого розміру. Назву виробу слід записувати в називному відмінку однини, ставлячи на першому місці іменник.

Знак переносу в назвах не використовується, крапка в кінці не ставиться. Всі надписи на схемах повинні виконуватися креслярськими шрифтами згідно з державним стандартом.

Завдання для самостійної роботи.

Вивчити правила оформлення графічної та текстової частини проєкту.

Контрольні питання

1. Які основні правила форматування текстових матеріалів використовуються при оформленні проєкту?
2. Що таке титульна сторінка і які елементи вона повинна містити?
3. Як правильно оформити зміст для проєктної документації? Які розділи повинні бути включені?
4. Які вимоги до вибору шрифтів, абзаців і нумерації в проєктних документах?
5. Які типи графічних матеріалів зазвичай використовуються в проєктній документації? Яке їх значення для проєкту?

Практичне заняття №2.

Розробка схеми електричної принципової керування технологічним процесом

Навчальний час: 4 години.

Мета заняття: Ознайомлення з основами розробки принципових схем керування технологічними процесами, вивчення методів побудови та аналізу таких схем.

Програма заняття:

1. Ознайомлення з основними елементами принципових схем електричних керувань і їх функціями в автоматизації технологічних процесів.
2. Розробка принципової схеми електричного керування для конкретного технологічного процесу.
3. Використання стандартних позначень для елементів схеми (реле, контактори, датчики, виконавчі механізми тощо).
4. Розробка схеми та опис принципу її роботи.

Основні теоретичні відомості

Принципова схема (ЕЗ) є найповнішою електричною схемою виробу, на якій зображуються всі електричні елементи та пристрої, необхідні для здійснення та контролю в виробі заданих електричних процесів, всі зв'язки між ними, а також елементи під'єднання (роз'єми, зажими), якими закінчуються вхідні та вихідні ланцюги. На принциповій схемі зображують усі електричні елементи або пристрої, необхідні для здійснення і контролю у виробі заданих електричних процесів, усі електричні зв'язки між ними, а також елементи (рознімання, затискачі і т.п.), якими закінчуються вхідні і вихідні кола. На схемі допускається зображати з'єднувальні і монтажні елементи установлювані у виробі із конструктивних міркувань. На схемах показують елементи, розміщені у вимкненому стані. Дозволяється деякі елементи зображати у вибраному робочому положенні із зазначенням на полі схеми режиму, для якого ці елементи показані. Електричні елементи на схемі зображують умовними графічними позначеннями, викреслення та розміри яких встановлено стандартними. Позиційні позначення елементам присвоюють починаючи з одиниці (в межах груп елементів одного типу) у відповідності їх розташування згори вниз у напрямку зліва направо, або в напрямку проходження сигналу чи у функціональній послідовності процесу. Дані про елементи, зображені на схемі, вносять в перелік елементів.

Схеми принципові можуть виконуватись суміщеним (рідше) і рознесеним засобом. При суміщеному засобі складові частини елементів або пристроїв приводять на схемі у безпосередній близькості один від одного. Рекомендується при виконанні схем розташовувати елементи, що входять в одне коло, послідовно один за одним по прямій, а окремі кола – поряд, у вигляді паралельних горизонтальних або вертикальних рядків.

На принциповій схемі усі ділянки кіл повинні мати **маркування**. **Окремими ділянками кола** вважаються ділянки, розділені контактами

комутаційної апаратури, теплових і проміжних реле, роз'єднувачами, короткозамикачами, обмотками електричних машин, резисторами, конденсаторами, дроселями, сигнальною арматурою, елементами вимірювальних приладів, запобіжниками та ін.

На схемах силових кіл змінного струму ввід джерел живлення позначають L1, L2, L3 або A, B, C (фазні проводи) і N (нульовий провід), а наступні ділянки кіл – додаванням порядкового номера ділянки (див. рисунок 2.11 а, в): перша фаза – L11, L12, L13 і т. ін. або A1, A2, A3; друга фаза – L21, L22, L23 і т. ін. або B1, B2, B3; третя фаза – L31, L32, L33 і т. ін. або C1, C2, C3 і т. ін.

На схемах силових кіл постійного струму ділянки кіл позитивної полярності позначають непарним числами, а негативної – парними. Полярність вхідних ділянок позначають L+ і L– або «+», і «–», а середній провід трипровідної мережі постійного струму – буквою М (рисунок 2.11б).

Ділянки кіл керування позначаються арабськими цифрами зліва направо і зверху униз (рисунок 2.1 а, в). У позначення кіл можна вводити букву, яка характеризує їх функціональне призначення. У цьому випадку послідовність чисел встановлюють у межах функціонального кола. Допускається у позначенні вторинних кіл включати позначення фаз як показано на рисунку 2.1 г, де A411, A412, A413 – ділянки вторинного кола трансформатора ТА1а фази А; C411, C412 – ділянки вторинного кола трансформатора струму ТА1с фази С; N411 – нульовий провід. У схемі рисунку 2.11 д буква V позначає, що це коло керування.

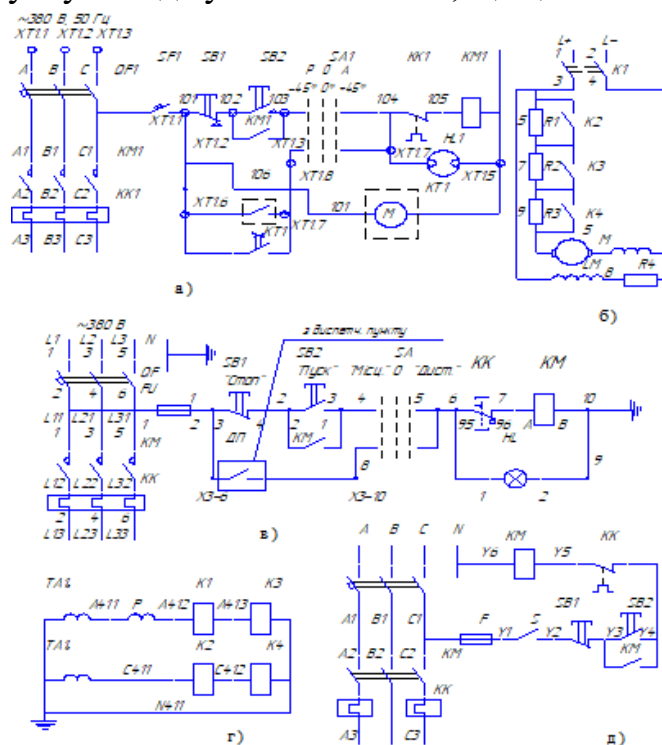


Рисунок 2.1 – Приклади виконання та маркування принципів електричних схем: а – схеми керування освітленням; б – схема силового кола електродвигуна постійного струму; в – маркування силового кола та кола керування освітленням; г – маркування вторинних кіл з використанням адрес присіднень; д – позначення кіл з указанням їхнього функціонального призначення

Приклад. Скласти принципову електричну схему керування технологічним процесом віджиму олії та описати принцип її роботи. На основі прийнятої технології отримання соняшникової олії до схеми автоматизації висуваються наступні вимоги:

- схема повинна забезпечувати ручний та автоматичний режими роботи;
- для інформування робочого персоналу про роботу преса-екструдера передбачити світлову сигналізацію;
- схема повинна забезпечувати автоматичне відключення нагрівачів при перевищенні допустимої температури нагрівання сировини, оскільки в результаті перегріву підвищується кольоровість олії та її кислотне число, а макуха містить менше цукрів та розчинного білку;
- для зменшення холостого режиму роботи електродвигуна, схема повинна забезпечувати його автоматичне включення тільки після прогріву корпусу екструдера до встановленої температури;
- схема повинна забезпечувати захист електрообладнання від перевантажень та струмів коротких замикань, а персоналу – від ураження електричним струмом.

Схема електрична принципова керування процесом віджиму олії, розроблена відповідно до вимог, представлена на рисунку 2.2

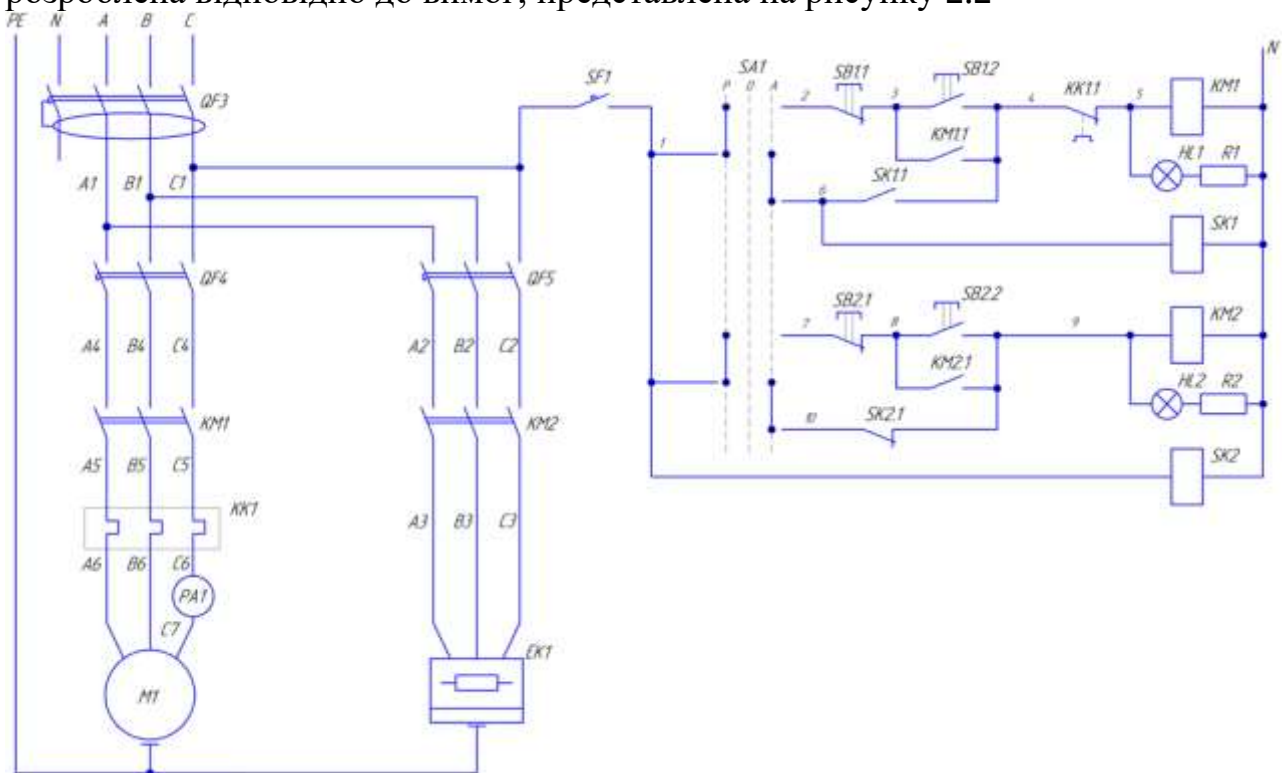


Рис. 2.2. Схема електрична принципова керування процесом віджиму олії

Завдання для самостійної роботи.

Описати роботу схеми рис. 2.2. Скласти таблицю переліку елементів розробленої схеми.

Вказівки щодо оформлення звіту.

Звіт повинен містити титульну сторінку, оформлену відповідно до встановлених вимог, з зазначенням теми роботи, прізвища здобувача, номера групи та дати виконання. У вступі слід коротко описати мету та завдання роботи. Основна частина звіту повинна містити детальний опис виконаного завдання, включаючи розроблену електричну принципову схему, її елементи та призначення кожного з них. Необхідно надати пояснення алгоритму роботи схеми, принципу її функціонування та особливостей використання в технологічному процесі. У висновках необхідно підсумувати результати виконаної роботи. Звіт також має містити графічний матеріал, наприклад, розроблену схему, оформлену відповідно до стандартів.

Контрольні питання

1. Що таке принципова електрична схема, і яке її призначення в технологічному процесі?
2. Які основні елементи використовуються в електричних схемах керування, і які їхні функції?
3. Як правильно вибрати та застосувати стандартні умовні графічні позначення в схемі?
4. Яким чином визначають послідовність роботи елементів у схемі та розробляють алгоритм її функціонування?
5. Які вимоги до безпеки необхідно враховувати при розробці принципових схем електричного керування?

Практичне заняття №3. Розробка схеми електричної з'єднань

Навчальний час: 2 години.

Мета заняття: Ознайомлення з методами розробки схем електричних з'єднань, вивчення особливостей побудови та оформлення таких схем відповідно до стандартів, набуття навичок їх практичного використання.

Програма заняття:

1. Ознайомитися з основними елементами схем електричних з'єднань і їх умовними графічними позначеннями.
2. Розробити електричну схему з'єднань для заданого об'єкта або технологічного процесу.
3. Застосувати правила маркування проводів, кабелів, контактів і виводів на схемі.

Основні теоретичні відомості

Схема з'єднань показує з'єднання складових частин виробу і визначає проводи, джгути, кабелі якими здійснюються ці з'єднання, а також місця їх приєднань і вводу. На схемі з'єднань пристрої, що входять у склад виробу, позначаються у вигляді прямокутників або зовнішніх окреслень, а елементи пристроїв – у вигляді умовних графічних позначень. Зображення пристрою на схемі з'єднань повинно відповідати дійсному його розташуванню у виробі. На зображенні пристроїв повинні бути обов'язково позначені вхідні і вихідні елементи (клемова колодка, вивідні конта-кти і т. ін.).

Їх маркування повинно відповідати заводському, а при його відсутності повинно бути присвоєно маркування проєктувальника, яке повинно дотримуватись на усіх видах документів, у яких позначений даний пристрій. Біля кожного пристрою на схемі повинно бути зазначено буквено-цифрове позначення згідно зі схемою електричною принциповою (у знаменнику) і номер, позначений арабськими числами (чисельник), який визначає конструктивне розташування пристрою у виробі (наприклад $\frac{1}{QF1}$).

На схемі з'єднань проводи, що ідуть у одному напрямку допускається зводити у джгут, але при підході до вихідних і вхідних елементів пристроїв, вони повинні бути роз'єднані. На кожному проводі, приєднаному до пристрою, повинна бути зазначена адреса приєднання. Для позначення адреси використовуються наступні кваліфікуючі символи:

пристрій найвищого рівня	=
функціональна група найвищого рівня	≠
конструктивне розміщення (зв'язок елемента з конструкцією пристрою найвищого рівня)	+
позначення елемента (позиційне позначення за схемою принциповою)	-
позначення контакту	:
адресне позначення	()

Приклад. Розробити схему електричну з'єднань для схеми рис. 3.1.

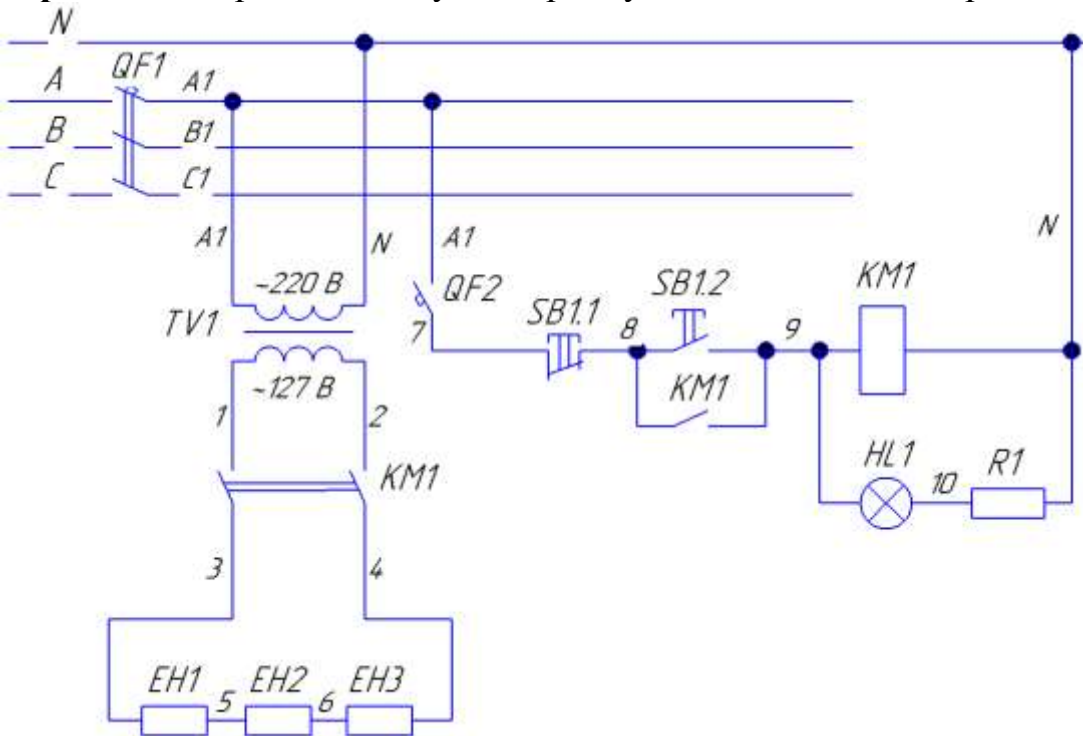


Рис. 3.1. Схема електрична принципова керування нагрівачами.

Схема з'єднань, складена відповідно до схеми 3.1, показана на рис. 3.2.

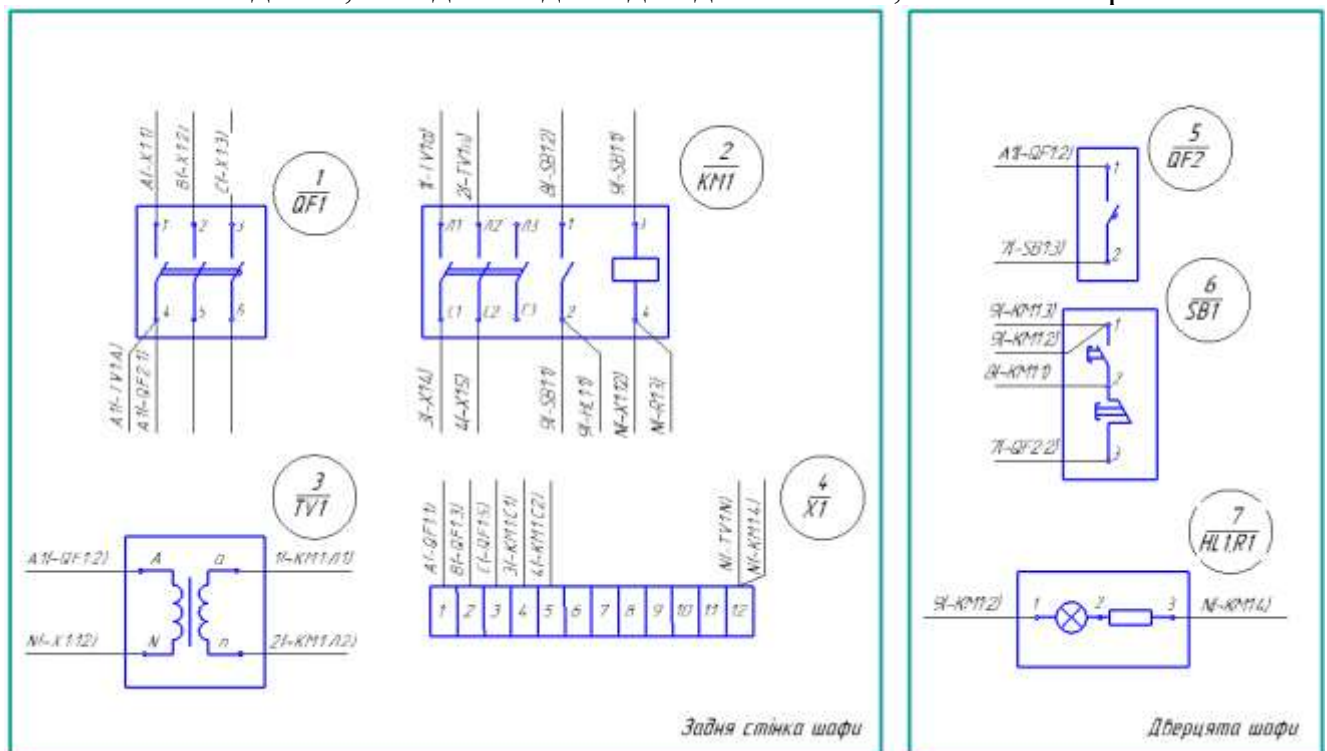


Рис. 3.2. Схема з'єднань, складена відповідно до схеми 3.1

Завдання для самостійної роботи.

Розробити електричну схему з'єднань шафи керування відповідно до принципової електричної схеми рис. 2.2 (див. практичне заняття №2).

Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт повинен починатися з титульної сторінки, оформленої відповідно до встановлених вимог, із зазначенням теми роботи, даних здобувача, групи та дати виконання. У вступі необхідно описати мету та завдання роботи. Основна частина звіту має включати розроблену електричну схему з'єднань, виконану з використанням стандартних умовних графічних позначень, а також пояснення до неї. У висновках необхідно підсумувати результати виконаної роботи. Графічні матеріали, зокрема схема з'єднань, повинні бути виконані чітко та з дотриманням стандартів.

Контрольні питання

1. Що таке електрична схема з'єднань, і яке її призначення?
2. Які основні елементи використовуються в схемах з'єднань, і які їх умовні графічні позначення?
3. Як правильно маркувати дроти, кабелі та виводи на схемі електричних з'єднань?
4. Які вимоги стандартів необхідно враховувати під час розробки схем електричних з'єднань?
5. Яким чином перевіряється правильність і функціональність розробленої схеми?

Практичне заняття №4. Розробка схеми електричної підключень

Навчальний час: 2 години.

Мета заняття: Ознайомлення з методами розробки схем електричних підключень, вивчення особливостей побудови та оформлення таких схем відповідно до стандартів, набуття навичок їх практичного використання.

Програма заняття:

1. Ознайомитися з основними елементами схем електричних підключень і їх умовними графічними позначеннями.
2. Розробити електричну схему підключень для заданого об'єкта або технологічного процесу.
3. Застосувати правила маркування проводів, кабелів, контактів і виводів на схемі.

Основні теоретичні відомості

Схема підключень показує зовнішні підключення виробу. Схемами користуються при розробці інших конструкторських документів, а також для здійснення підключень виробів і під час їх експлуатації:

1. На схемі підключень вироби зображуються у вигляді прямокутників або зовнішніх обрисів.
2. На зображенні виробів обов'язково повинні бути позначені вхідні і вихідні елементи.
3. Джгути, трубопроводи, кабелі, проводи, які ідуть в одному напрямку допускається зводити в одну лінію, але при підході до виробу вони повинні бути роз'єднані.
4. Маркування вхідних і вихідних елементів виробів повинно відповідати заводському, а у випадку його відсутності допускається умовно присвоювати позначення, але при цьому прийнятого маркування повинно дотримуватися у всіх конструкторських документах.
5. На проводах, які підходять до вхідних і вихідних елементів повинні бути вказані адреси, відповідно до вище викладеного принципу для схем з'єднань, номери з'єднувальних кіл, вказано марку проводу, спосіб прокладки.

Різницею схем підключень від схем з'єднань є виконання зображень виробів без прив'язки до дійсного розташування їх на плані конструкції, об'єкта.

Таблиця 4.1 - Позиційне позначення на схемі електричній підключень

	Класифікуючий символ	Класифікуючий символ	Номер апарату на який приходить провід	Класифікуючий символ		Класифікуючий символ
Номер проводу	відкриття адреси	Познака вищого рівня - пристрій		познака електричного контакту	Номер контакту в апараті	закриття адреси
A1	(	=	QF1	:	1	)

Схему підключень виконують без дотримання масштабу на одному або декількох аркушах формату не більш А1 (594x841) і привласнюють найменування: "Шафа керування. Схема електрична підмикання". Вид й тип схеми, що позначаються прописними літерами та цифрами – Е5.

Приклад. Розробити схему електричну підключень для схеми рис. 4.1.

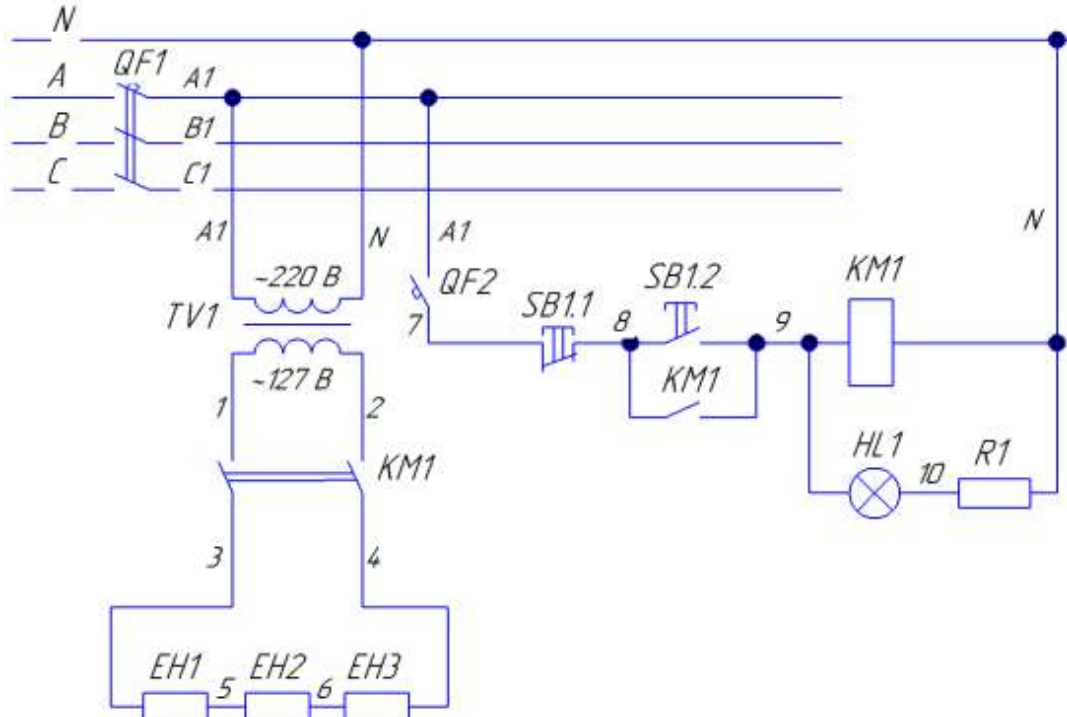


Рис. 4.1. Схема електрична принципова керування нагрівачами.

Схема підключень, складена відповідно до схеми рис. 4.1 та рис. 3.2 (див. ПЗ №3), показана на рис. 4.2.

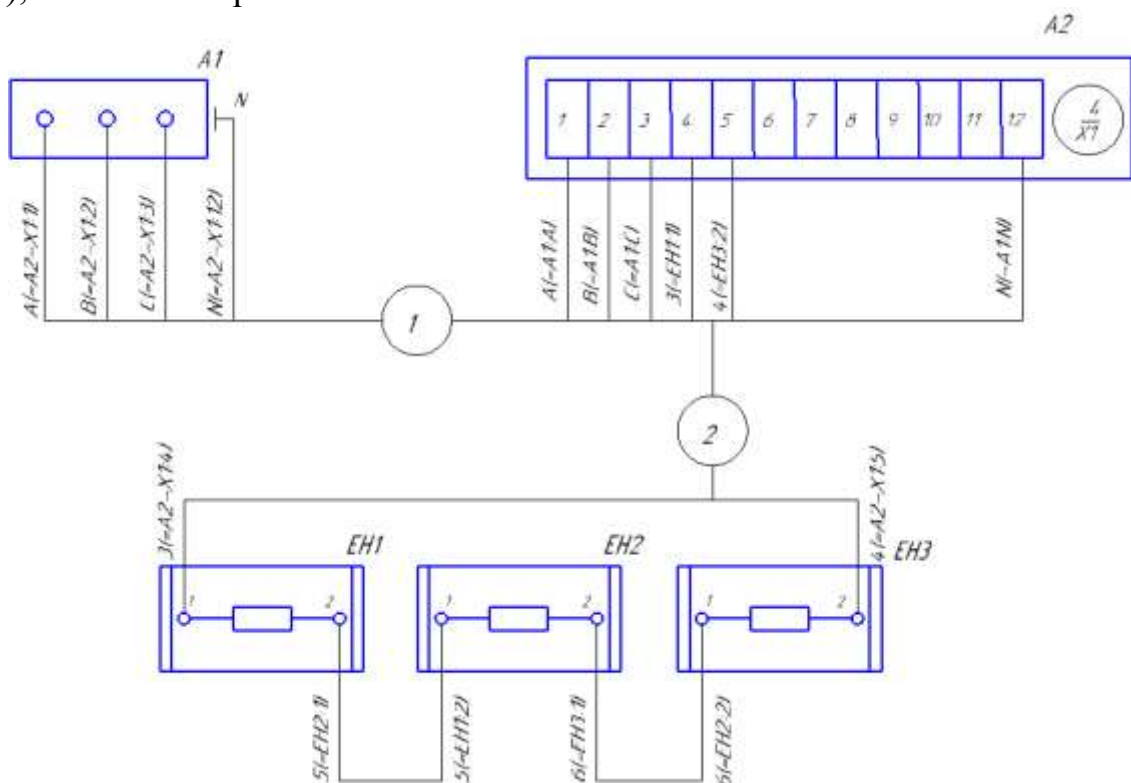


Рис. 4.2. Схема підключень, складена відповідно до схеми 4.1

Завдання для самостійної роботи

Розробити електричну схему підключень шафи керування відповідно до принципової електричної схеми рис. 2.2 (див. практичне заняття №2).

Вказівки щодо оформлення звіту

Звіт повинен починатися з титульної сторінки, оформленої відповідно до встановлених вимог, із зазначенням теми роботи, даних здобувача, групи та дати виконання. У вступі необхідно описати мету та завдання роботи. Основна частина звіту має включати розроблену електричну схему підключень, виконану з використанням стандартних умовних графічних позначень, а також пояснення до неї. У висновках необхідно підсумувати результати виконаної роботи. Графічні матеріали, зокрема схема підключень, повинні бути виконані чітко та з дотриманням стандартів.

Контрольні питання

1. Що таке схема електричних підключень, і яке її призначення в процесі проєктування?
2. Які основні елементи включає схема електричних підключень, і які їх умовні графічні позначення?
3. Як правильно маркувати проводи, кабелі та контакти на схемі електричних підключень?
4. Які стандарти та вимоги необхідно враховувати при створенні схем електричних підключень?
5. Які типові помилки виникають при розробці схем підключень, і як їх можна уникнути?

Практичне заняття №5. Вибір провідників внутрішньої цехової силової мережі

Навчальний час: 4 години.

Мета роботи: оволодіти практичними навичками по вибору провідників внутрішньої цехової силової мережі.

Програма заняття:

1. Видати індивідуальне завдання кожному студенту. Завдання по варіантам наведено у таблиці 5.1.
2. Навести приклад виконання завдання
3. Студентам виконати розрахунок перерізу проводів, вибрати їх марку згідно завдання.
4. Отримані дані розрахунків нанести на схему внутрішньої цехової силової мережі по заданій формі.

Основні теоретичні відомості

При проектуванні внутрішньої цехової силової мережі необхідно враховувати наступне:

- характеристику середовища приміщення (температура, вологість, хімічний склад середовища);
- матеріал проводу;
- спосіб прокладки;
- кількість проводів;

Переріз проводів для силової мережі обирається по довготривалому допустимому струму навантаження з перевіркою по допустимому падінню напруги та механічній міцності. Основна умова:

$$I_{\text{тр доп}} \geq I_{\text{розр}} \quad (5.1)$$

де: $I_{\text{тр. доп.}}$ та $I_{\text{розр.}}$ - відповідно довготривалий допустимий і розрахунковий струми, А.

В якості розрахункових струмів відгалужень до окремих споживачів приймають їх номінальні струми, які визначаються за формулами:

- для однофазних споживачів:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{U_H \cdot \cos \varphi_H}; \quad (5.2)$$

- для трифазних споживачів:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H}; \quad (5.3)$$

- для трьохфазних асинхронних електродвигунів:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}, \quad (5.4)$$

де P_H – номінальна потужність двигуна, кВт;

U_H – номінальна напруга, В;

η_H – номінальний ККД;

$\cos \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт потужності.

Переріз провідників внутрішніх освітлювальних мереж у виробничих приміщеннях сільськогосподарських підприємств згідно ПУЕ та (НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) розраховують по допустимій втраті напруги, а потім перевіряють по нагріву. Згідно названих документів, для внутрішніх освітлювальних мереж, при номінальній на-прузі на вводі, допустима втрата напруги дорівнює 2,5%. Крім того, площі поперечного перерізу провідників повинні забезпечувати механічну міцність і бути узгоджені з уставками захисних апаратів.

При виборі проводів і кабелів по допустимій втраті напруги повинно бути витримана умова:

$$\Delta U_{\% \text{розр}} \leq \Delta U_{\% \text{доп}}, \quad (5.5)$$

де $\Delta U_{\% \text{розр}}$, $\Delta U_{\% \text{доп}}$ – відповідно, розрахункова і допустима втрати напруги, %.

Розрахункові втрати напруги $\Delta U_{\% \text{розр}}$ визначають при умові, що навантаження по фазам розподілені рівномірно і на усіх ділянках прокладено однаковий провід:

а) для лінії:

$$\Delta U_{\% \text{розр}} = \frac{\sum P_i l_i}{c S_i} = \frac{\sum M_i}{c S_i}; \quad (5.6)$$

б) для однієї ділянки:

$$\Delta U_{\% \text{розр}} = \frac{P_i l_i}{c S_i} = \frac{M_i}{c S_i}, \quad (5.7)$$

де P_i – потужність на i -ої розрахункової ділянці, кВт;

l_i – довжина i -ої розрахункової ділянки, м;

M_i – електричний момент i -ої розрахункової ділянки, кВт·м;

c – постійний коефіцієнт для даного провідника, який залежить від напруги мережі, кількості фаз та матеріалу провідника;

S_i – переріз провідника i -ої розрахункової ділянки, мм².

Розрахунковий переріз проводу освітлювальної мережі визначається за формулою:

$$S = \frac{\sum M}{C \Delta U_{\text{дон}}}, \quad (5.8)$$

Отримане у результаті розрахунку значення перерізу провідника округляють до найближчого найбільшого стандартного значення та визначають фактичну втрату напруги для обраного провідника за формулами (5.6-5.7).

Розрахунковий струм групової або магістральної мережі розраховується по формулі:

$$I_p = K_0 \cdot \sum I_H, \quad (5.9)$$

де K_0 – коефіцієнт одночасності роботи електрообладнання;

$\sum I_H$ – сума номінальних або розрахункових струмів електрообладнання,

А.

Приклад. Розрахувати переріз та вибрати марку проводу для внутрішньої цехової силової мережі, схема якої наведена на рисунку 5.1.

Від силового розподільчої шафи А2 живиться шафа А1 та освітлювальний щит А3. Струм освітлювальної установки становить 9,2 А. Від шафи управління до струмоприймачів М1 і М2 прокладено дві чотирьох провідні мережі. Потужність двигунів наведено на схемі.

Рішення. Провода для силової електричної мережі обирають по тривало допустимому струму нагріву за умовою (5.1):

Для здійснення живлення струмоприймачів М1 і М2 обрані алюмінієві одножильні проводи марки АПВ. До кожного двигуна прокладено по чотири проводи. Спосіб прокладки в трубах.

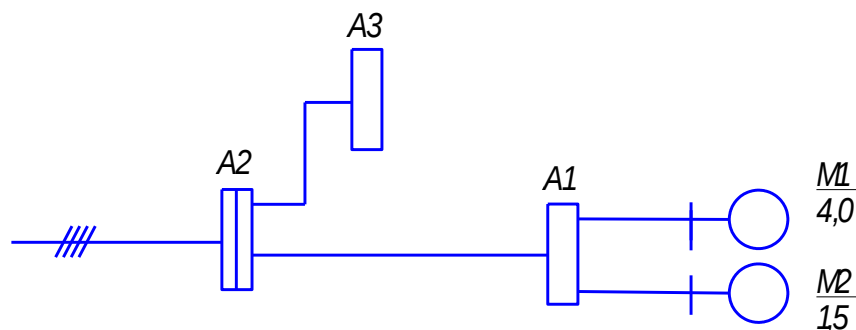


Рисунок 5.1 - Схема внутрішньої цехової силової електричної мережі

Визначимо розрахунковий струм мережі, яка живить електродвигун (групові ділянки) М1 [1, 2]:

$$I_{\text{розр}M1} = \frac{4,0}{1,73 \times 0,38 \times 0,82 \times 0,81} = 9,16 \text{ A}$$

Спосіб прокладки обраний в трубах, прокладених по стіні. Кількість проводів - 4. Марка проводу - АПВ. Найближчий перетин провідника: $S = 2,5 \text{ мм}^2$; $I_{\text{тр.доп}} = 19 \text{ A}$, тому вибираємо провід марки АПВ - 2,5; $I_{\text{тр.доп}} = 19 \text{ A}$. Так, як $I_{\text{тр.доп АПВ - 2,5}} = 19 \text{ A} \geq I_{\text{розр.}} = 9,16 \text{ A}$, то провід обраний вірно.

Аналогічно проводиться розрахунок для силової мережі, що живить електродвигун приводу нахилоного транспортера М2.

$$I_{\text{розр}M2} = \frac{1,5}{1,73 \times 0,38 \times 0,80 \times 0,79} = 3,61 \text{ A}$$

Спосіб прокладки обраний в трубах, прокладених по стіні. Кількість проводів - 4. Марка проводу - АПВ. Найближчий перетин провідника: $S = 2,5 \text{ мм}^2$; $I_{\text{тр.доп}} = 19 \text{ A}$, тому вибираємо провід марки АПВ - 2,5; $I_{\text{тр.доп}} = 19 \text{ A}$. Так, як $I_{\text{тр.доп АПВ - 2,5}} = 19 \text{ A} \geq I_{\text{розр.}} = 9,16 \text{ A}$, то провід обраний вірно.

Визначаємо розрахунковий струм $I_{\text{м.розр.}}$ магістральної ділянки між шафами А2 і А1. Робочий розрахунковий струм магістральної ділянки $I_{\text{розр}A1-A2}$ визначається за формулою [1, 2, 4]:

$$I_{\text{розр} A1-A2} = 1,0 \cdot (9,16 + 3,61) = 12,8 \text{ A}$$

Визначаємо розрахунковий струм вводу $I_{\text{розр.В}}$ від шафи А2 до ТП:

$$I_{\text{розр В}} = 0,9 (12,8 + 9,2) = 19,8 \text{ A}$$

Спосіб прокладки обраний в трубах, прокладених по стіні. Кількість проводів - 4. Марка проводу - АПВ. Найближчий перетин провідника: $S = 4 \text{ мм}^2$; $I_{\text{тр.доп}} = 23 \text{ A}$, тому вибираємо провід марки АПВ - 4. Так, як $I_{\text{тр.доп АПВ - 4}} = 23 \text{ A} \geq I_{\text{розр.}} = 19,8 \text{ A}$, то провід обраний вірно.

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати переріз та вибрати марку проводу для внутрішньої цехової силової мережі, схема якої наведена на рисунку 5.2. Потужності приймачів наведено у таблиці 5.1, згідно варіанту.

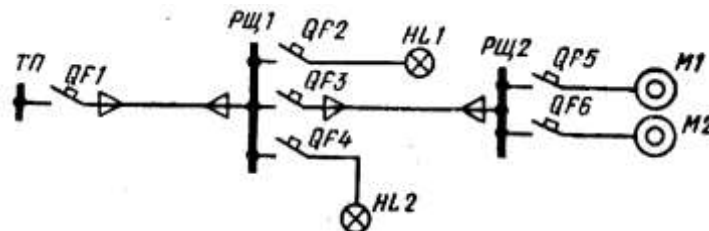


Рисунок 5.2 - Схема силової електричної мережі

Таблиця 5.1 - Завдання по варіантам

Варіант	Потужності струмоприймачів, кВт							
	М1			М2			HL1	HL2
	Р, кВт	Cos φ	η	Р, кВт	Cos φ	η	Р, кВт	Р, кВт
1	0,75	0,73	0,72	4,0	0,84	0,84	3,5	4,3
2	1,1	0,81	0,75	5,5	0,85	0,85	5,6	4,8

3	1,5	0,83	0,77	7,5	0,86	0,87	7,1	5,8
4	2,2	0,83	0,80	11,0	0,87	0,87	1,3	1,9
5	3,0	0,83	0,82	15,0	0,88	0,89	4,4	3,0
6	4,0	0,84	0,84	0,75	0,73	0,72	2,5	7,7
7	5,5	0,85	0,85	1,1	0,81	0,75	2,7	6,7
8	7,5	0,86	0,87	1,5	0,83	0,77	3,3	9,9
9	11,0	0,87	0,87	2,2	0,83	0,80	1,0	6,6
10	15,0	0,88	0,89	3,0	0,83	0,82	1,5	8,1
11	3,0	0,83	0,82	1,5	0,83	0,77	2,0	3,1
12	4,0	0,84	0,84	2,2	0,83	0,80	4,2	5,2
13	5,5	0,85	0,85	3,0	0,83	0,82	9,9	6,2
14	7,5	0,86	0,87	4,0	0,84	0,84	6,6	3,5
15	11,0	0,87	0,87	5,5	0,85	0,85	8,1	5,6
16	15,0	0,88	0,89	7,5	0,86	0,87	3,1	7,1
17	0,75	0,73	0,72	11,0	0,87	0,87	5,2	1,3
18	1,1	0,81	0,75	15,0	0,88	0,89	6,2	4,4
19	1,5	0,83	0,77	0,75	0,73	0,72	7,1	2,7
20	2,2	0,83	0,80	1,1	0,81	0,75	4,8	3,3
21	3,0	0,83	0,82	7,5	0,86	0,87	5,8	1,0
22	4,0	0,84	0,84	11,0	0,87	0,87	1,9	1,5
23	5,5	0,85	0,85	15,0	0,88	0,89	3,0	2,0
24	0,75	0,73	0,72	2,2	0,83	0,80	7,7	4,2
25	1,1	0,81	0,75	3,0	0,83	0,82	6,7	9,9

Вказівки щодо оформлення звіту.

Звіт повинен містити титульну сторінку, оформлену відповідно до встановлених вимог, із зазначенням теми роботи, даних здобувача, групи та дати виконання. У вступі необхідно описати мету та завдання роботи. Основна частина звіту має включати розрахунок згідно індивідуального завдання. У висновках необхідно підсумувати результати виконаної роботи. Графічні матеріали повинні бути виконані чітко та з дотриманням стандартів.

Контрольні питання

1. За якою умовою обираються переріз та марка проводів?
2. За якими умовами перевіряються обрані проводи?
3. Яким чином розраховується струм групової мережі?
4. Яким чином розраховується струм магістральної мережі?
5. Яка умова повинна виконуватися виборі перерізу проводів магістральної мережі по відношенню до групової?

Практичне заняття №6. Вибір апаратури комутації та захисту

Навчальний час: 4 години.

Мета заняття: оволодіти практичними навичками по вибору комутаційної та захисної апаратури.

Програма заняття:

1. Видати індивідуальне завдання кожному студенту. Завдання по варіанта наведено у таблиці 6.1
2. Навести приклад виконання завдання
3. Студентам виконати відповідні розрахунки та вибрати необхідну апаратуру комутації та захисту згідно завдання
4. Отримані дані розрахунків нанести на схему внутрішньої цехової силової мережі по заданій формі

Основні теоретичні відомості

У розробленій схемі в якості захисних апаратів електродвигунів від струмів короткого замикання використані автоматичні вимикачі з електромагнітними розчіплювачами, а від перевантаження двигуни захищені тепловими реле магнітних пускачів.

Автоматичні вимикачі можуть бути одно-, дво- та трьохполюсні. Крім того вони можуть мати допоміжні контакти, розчіплювачі (електромагнітні, теплові, комбіновані, незалежні – для дистанційного управління вимикачем у схемах релейного захисту та автоматики).

Автоматичні вимикачі вибирають по умовам:

- 1) по **номінальній напрузі** автоматичного вимикача

$$U_{н. ав.} \geq U_c \quad (6.1)$$

де: U_c - напруга мережі, В ;

- 2) по **номінальному струму** $I_{н.ав.}$:

$$I_{н.ав} \geq I_{розр.} \quad (6.2)$$

- 3) по **кількості полюсів**;
- 4) по **виду розчіплювача**;
- 5) по **струму розчіплювача** $I_{н.розч. ав.}$:

$$I_{н.розч. ав} \geq I_{розр.} \quad (6.3)$$

- 6) по **струму спрацювання** електромагнітного розчіплювача $I_{сп.ем.розч.}$

$$I_{сп.ем.розч.} > 1,5 I_{п.дв.}; \quad (6.4)$$

$$I_{п.дв} = I_{н.дв.} \cdot K_i$$

де: $I_{п.дв}$, $I_{н.дв.}$ - пусковий і номінальний струм двигуна А;

для захисту електричної мережі з кількома електродвигунами

$$I_{пуск.розр.} = (1,5 \dots 1,8) \cdot [\sum I_H + (I_{п.нб} - I_{н.нб})], \quad (6.5)$$

де $\sum I_H$ – сума номінальних струмів всіх одночасно працюючих електродвигунів, А;

$(I_{п.нб} - I_{н.нб})$ – різниця між значеннями пускового та номінального струмів електродвигуна, в якого ці струми найбільші;

- 7) по наявності допоміжних контактів;
- 8) по кліматичному виконанню;
- 9) по категорії розміщення;

Вибір магнітних пускачів

Магнітні пускачі вибирають по умовам:

- 1) по номінальній напрузи пускача $U_{н.п.}$:

$$U_{н.п.} \geq U_c \quad (6.6)$$

- 2) по номінальному струму $I_{н.п.}$:

$$I_{н.п.} > I_{расч.} \quad (6.7)$$

- 3) по наявності теплових реле;
- 4) по величині номінального струму теплового реле $I_{н.тр.}$.

$$I_{н.тр.} \geq I_{расч.} \quad (6.8)$$

- 5) по струму неспрацювання теплового реле $I_{н.нтр.}$;

$$I_{н.нтр.} \geq I_{расч.} \quad (6.9)$$

- 6) по наявності реверсу;
- 7) по наявності допоміжних контактів;
- 8) по наявності кнопок «ПУСК» і «СТОП»;
- 9) по кліматичному виконанню для помірного клімату;
- 10) по категорії розміщення;
- 11) по ступеню захисту.

Приклад. Вибрати автоматичні вимикачі та магнітні пускачі для мережі, схема якої наведена на рисунку 2.1.

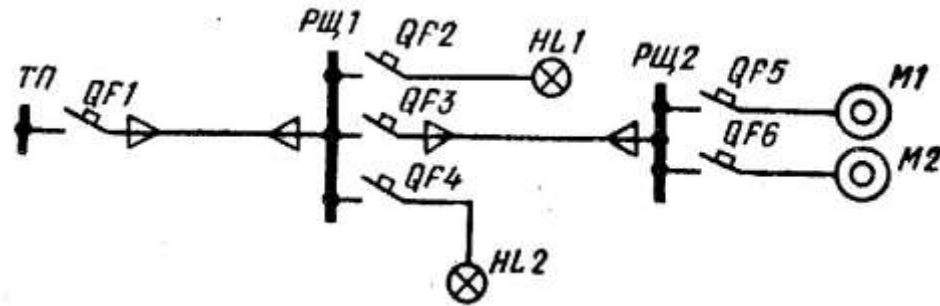


Рисунок 6.1 - Схема силової електричної мережі

Від силового розподільчої шафи **РЩ1** живиться шафа **РЩ2** та освітлювальні мережі **HL1** та **HL2**. Шафа **РЩ1** отримує живлення від **ТП**. Перерізи проводів, їх марки та струми навантаження групових, магістральних ділянок та вводу розраховані на попередньому занятті: $U_c = 380 \text{ В}$; $U_{c \text{ HL}} = 220 \text{ В}$; $I_{\text{расч.М1}} = 9,16 \text{ А}$; $I_{\text{расч.М2}} = 3,61 \text{ А}$; $I_{\text{пМ1}} = 45,8 \text{ А}$; $I_{\text{пМ2}} = 18,6 \text{ А}$; $I_{\text{расч А1-А2}} = 49,4 \text{ А}$; $I_{\text{расч в}} = 42,3 \text{ А}$; **АПВ** - 2,5; $I_{\text{дл. доп}} = 19 \text{ А}$ та **АПВ** - 16; $I_{\text{дл. доп}} = 55 \text{ А}$.

Рішення. Автоматичний вимикач **QF1** вибираємо за умовами (2.1 – 2.4):

- 1) по **номінальній напрузі** автоматичного вимикача

$$U_{\text{н. ав}} = 380 \text{ В};$$

де: U_c - напруга мережі, В ; $U_c = 380 \text{ В}$;

- 2) по **номінальному струму** $I_{\text{н.ав.}}$:

$$I_{\text{н.ав}} = 16 \text{ А};$$

$$I_{\text{розр.}} = 9,16 \text{ А}$$

- 3) по **кількості полюсів** - трьохполюсний;
- 4) по **виду розчеплювача** - електромагнітний;
- 5) по **струму розчеплювача** $I_{\text{н.розч. ав.}}$:

$$I_{\text{н.розч. ав}} = 10 \text{ А};$$

- 6) по **струму спрацювання електромагнітного розчеплювача** $I_{\text{ср.ем.розч.}}$

$$I_{\text{ср.ем.розч}} = 1,25 \cdot 45,8 = 57,25 \text{ А};$$

$$I_{\text{п.дв}} = I_{\text{н.дв.}} \cdot K_i$$

де: $I_{\text{п.дв}}$, $I_{\text{н.дв.}}$ - пусковий і номінальний струм двигуна А;

$$I_{\text{ср.ем.розч.}} = 68,7 \text{ А};$$

- 7) по наявності допоміжних контактів - без допоміжних контактів;
- 8) по кліматичному виконанню - У ;
- 9) по категорії розміщення - 3;

По [3] вибираємо автоматичний вимикач **АЕ 2023-10УЗ** з наступними даними: $U_{\text{н.ав.}} = 380 \text{ В}$; $I_{\text{н.ав.}} = 16 \text{ А}$; трьохполюсний с електромагнітним розчеплювачем; $I_{\text{н.розч.ав.}} = 10 \text{ А}$; $I_{\text{ср.ем.розч.}} = 120 \text{ А}$ ($I_{\text{ср.ем.розч.}} = 12 I_{\text{н.розч.ав.}}$) без допоміжних контактів; по кліматичному виконанню - для помірного клімату - У; по категорії розміщення - 3;

Магнітні пускачі вибираємо по умовам [1,2,3] :

- 1) по *номінальній напрузі* пускача $U_{\text{н.п.}}$:

$$U_c = 380 \text{ В}$$

- 2) по *номінальному струму* $I_{\text{н.п.}}$:

$$I_{\text{розр.}} = 9,16 \text{ А}$$

- 3) по наявності *теплових реле* - з тепловим реле;
- 4) по *величині номінального струму теплового реле* $I_{\text{н.тр.}}$.
- 5) по *струму неспрацювання* теплового реле $I_{\text{н.нтр.}}$;
- 6) по наявності *реверсу* - не реверсивний;
- 7) по наявності *допоміжних контактів* - один замикаючий;
- 8) по наявності *кнопок «ПУСК» і «СТОП»* - без кнопок;
- 9) по *кліматичному виконанню* для помірного клімату - / У, УХЛ /;
- 10) по *категорії розміщення* /3/;
- 11) по *ступеню захисту* - ІР00.

По [3] вибираємо магнітний пускач серії **ПМЛ - 1200УЗ**; $U_{\text{н}} = 380 \text{ В}$; $I_{\text{нп}} = 10 \text{ А}$; з тепловим реле **РТЛ-1014-04**; нереверсивний; с одним замикаючим контактом у допоміжному колі без кнопок «ПУСК» і «СТОП»; по кліматичному виконанню та категорії розміщення **УЗ**; ступень захисту - **ІР00**.

Завдання для самостійної роботи

Вибрати автоматичні вимикачі та магнітні пускачі для мережі, схема якої наведено на рисунку 6.2.

Від силового розподільчої шафи **РЩ1** живиться шафа **РЩ2** та освітлювальні мережі **НЛ1** та **НЛ2**. Шафа **РЩ1** отримує живлення від **ТП**. Перерізи проводів, їх марки та струми навантаження групових, магістральних ділянок та вводу розраховані на попередньому занятті. Вихідні дані попереднього розрахунку навести у вигляді таблиці 6.1.

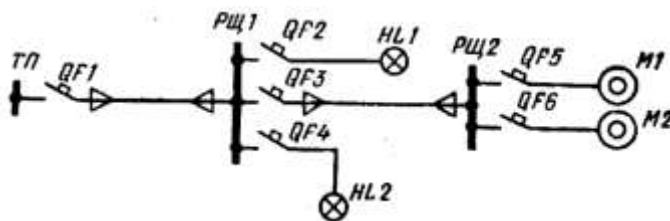


Рисунок 6.2 - Схема силової електричної мережі

Таблиця 6.1 – Вихідні дані (беруться із результатів розрахунків попереднього завдання)

Вихідні дані	Найменування ділянки	Електроприймач	Позначення параметра	Одиниця виміру	Кількісні показники	Марка та переріз проводу	$I_{\text{дл. доп.}}$, А
	Групова ділянка	М1	U_c	В	380	-	-
			$I_{p.M1}$	А	9,16	АПВ – 2,5	19
			I_{nM1}	А	45,8	-	-
		М2	U_c	В	380	-	-
			$I_{p.M2}$	А	3,61	АПВ – 2,5	19
			I_{nM2}	А	18,6	-	-
		HL1	U_c	В	220	-	-
			I_{pHL1}	А	3,1	АПВ – 2,5	19
		HL2	U_c	В	220	-	-
			I_{pHL1}	А	2,3	АПВ – 2,5	19
	Магістральна ділянка	РЩ1 – РЩ2	I_{pA1-A2}	А	49,4	АПВ - 16	55
		РЩ1 - ТП	I_{pB}	А	42,3	АПВ - 16	55

Вказівки щодо оформлення звіту.

Звіт повинен містити титульну сторінку, оформлену відповідно до встановлених вимог, із зазначенням теми роботи, даних здобувача, групи та дати виконання. У вступі необхідно описати мету та завдання роботи. Основна частина звіту має включати розрахунок згідно індивідуального завдання. У висновках необхідно підсумувати результати виконаної роботи. Графічні матеріали повинні бути виконані чітко та з дотриманням стандартів.

Контрольні питання

1. За якими умовами обираються автоматичні вимикачі?
2. За якими умовами обираються магнітні пускачі?
3. За якими умовами обирається струм спрацювання електромагнітного розчеплювача?
4. Яким чином розраховується струм відсічки електромагнітного розчеплювача?
5. Яким чином визначається необхідна кількість допоміжних контактів магнітного пускача?

Практичне заняття №7. Вибір запобіжників для захисту електроприймачів

Навчальний час: 2 години.

Мета заняття: оволодіти практичними навичками по вибору запобіжників для захисту електроприймачів.

Програма заняття:

1. Видати індивідуальне завдання кожному студенту. Завдання по варіанта наведено у таблиці 7.1.
2. Навести приклад виконання завдання
3. Студентам виконати відповідні розрахунки та вибрати необхідну апаратуру комутації та захисту згідно завдання
4. Отримані дані розрахунків нанести на схему внутрішньої цехової силової мережі по заданій формі

Основні теоретичні відомості

Плавкі вставки запобіжників обираються по наступним умовам:

- 1) по **номінальній напрузі** запобіжника:

$$U_{н. ав.} \geq U_c \quad (7.1)$$

де: U_c - напруга мережі, В ;

- 2) по **номінальному струму** $I_{н.з}$ запобіжника:

$$I_{н.з} \geq I_{розр.} \quad (7.2)$$

- 3) по **номинальному струму плавкої вставки** $I_{н.пв.}$:

$$I_{н.пв} \geq I_{розр.} \quad (7.3)$$

Розрахунковий струм, ділянки або електроприймача, що захищається визначається за формулою [1,2] :

- для лінії з одним електродвигуном:

$$I_{розр.} = I_{пуск дв} / \alpha \quad (7.4)$$

де $I_{пуск дв}$ - пусковий струм електродвигуна, А;

α - коефіцієнт, який залежить від умов роботи електродвигуна:

$\alpha = 2,5$ – при нечастих пусках; $\alpha = 1,6 - 2,0$ – при важких умовах пуску.

- для мереж, які живлять декілька груп електроприймачів (електродвигунів), струм плавкої вставки вибирають виходячи з трьох умов:

$$а) I_{в.розр.} \geq K_0 \sum I_{розр.i} \quad (7.5)$$

$$б) I_{в.розр.} \geq K_0 \sum I_{розр.i} + I_{пуск дв найб} / \alpha \quad (7.6)$$

де K_0 – коефіцієнт одночасності (при $n \leq 3$ $K_0 = 1$; при $n \geq 3$ $K_0 < 1$)

в) умова селективності зводиться до того, щоб номінальний струм плавкої вставки кожного послідовного запобіжника (від споживача до джерела живлення) був на одну-дві ступені більше $I_{н.пв}$ попереднього запобіжника.

На підставі отриманих значень струмів плавких вставок запобіжників можна визначити допустимі струми по нагріву для вибору перерізів проводів. Якщо мережа захищена від коротких замикань та перевантажень, то допустимий струм визначають, як $I_{доп.} \geq 1,25 I_{н.пв}$, а при захисті тільки від коротких замикань, наприклад кабелів або проводів у промислових приміщеннях, $I_{доп.} \geq 0,33 I_{н.пв}$ але ж завжди так, щоб $I_{доп.} \geq I_{розр.}$

Приклад. Вибрати запобіжники для захисту електроприймачів, які позначені на схемі рисунку 7.1.

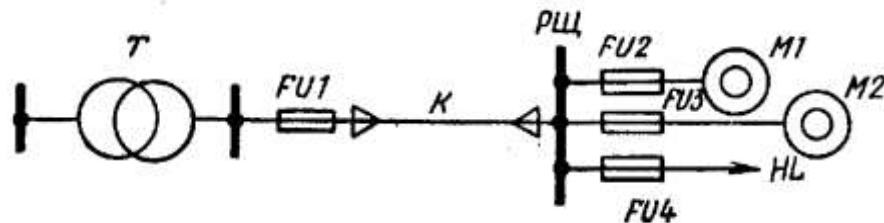


Рисунок 7.1 - Схема силової електричної мережі

Від силового розподільчої шафи РЩ живляться електродвигуни М1 та М2, освітлювальна мережа НЛ. Шафа РЩ отримує живлення від підстанції Т. Перерізи проводів, їх марки та струми навантаження групових і магістральної ділянок мають наступні дані: $U_c = 380$ В; $I_{розр.М1} = 9,16$ А; $I_{пМ1} = 45,8$ А; $I_{розр.М2} = 3,61$ А; $I_{пМ2} = 18,6$ А; $I_{розр.НЛ} = 3,43$ А;

Рішення. Запобіжник FU2 – FU4 вибираємо за умовами:

1) за **номінальною напругою** запобіжника (формула (7.1):

$$U_{н. ав.} = 380 \text{ В}$$

2) по **номінальному струму** $I_{н.з}$ запобіжника (формула (7.2):

$$\text{для: } М1 - I_{н.з} \geq 9,16 \text{ А; } М2 - I_{н.з} \geq 3,61 \text{ А; } НЛ - I_{н.з} \geq 3,43 \text{ А}$$

3) по **номинальному струму плавкої вставки** $I_{н.пв}$ (формули (7.3 – 7.4):

$$I_{розр.М1} = 45,8 : 2,5 = 18,32 \text{ А}$$

$$I_{розр.М2} = 18,6 : 2,5 = 7,44 \text{ А}$$

$$I_{н.пвм1} \geq 18,32 \text{ А}; \quad I_{н.пвм2} \geq 7,44 \text{ А};$$

для **НЛ**: $I_{н.пв} \geq I_{розр.} \quad I_{н.пв} \geq 3,43 \text{ А};$

За довідниковою літературою вибираємо запобіжники типу ПРС,

- відповідно:
- для **М1**: ПРС – 25 з наступними параметрами: $I_{н.зм1} = 25 \text{ А}$ ($25 > 9,16$);
 $I_{н.пвм1} = 20 \text{ А}$ ($20 > 18,32$);
 - для **М2**: ПРС – 25 з наступними параметрами: $I_{н.зм2} = 25 \text{ А}$ ($25 > 3,61$);
 $I_{н.пвм2} = 10 \text{ А}$ ($10 > 7,44$);
 - для **НЛ**: ПРС – 25 з наступними параметрами: $I_{н.з \text{ НЛ}} = 25 \text{ А}$ ($25 > 3,43$);
 $I_{н.пв \text{ НЛ}} = 4 \text{ А}$ ($4 > 3,43$);

Запобіжник **FU1** вибираємо за умовами:

- 1) по *номінальній напрузи* запобіжника (формула (7.1):

$$U_{н. ав.} = 380 \text{ В}$$

- 2) по *номінальному струму* $I_{н.з}$ запобіжника (формула (7.6):

$$I_{в.розр. \text{ РЩ -ТП}} \geq K_0 \sum I_{розр.i} + I_{пуск \text{ дв найб}} / \alpha$$

$$I_{розр \text{ РЩ -ТП}} = 1,0(3,61 + 3,43) + 45,8 : 2,5 = 25,36 \text{ А}$$

- 3) по *номинальному струму плавкої вставки* $I_{н.пв.}$ (формула (7.3):

$$I_{н.пв} \geq I_{розр \text{ РЩ -ТП}}$$

$$I_{н.пв \text{ РЩ -ТП}} \geq 25,36 \text{ А};$$

За довідниковою літературою вибираємо запобіжники типу ПРС: ПРС – 63 з наступними параметрами: $I_{н.з \text{ РЩ -ТП}} = 63 \text{ А}$ ($63 > 25,36$); $I_{н.пв \text{ РЩ -ТП}} = 40 \text{ А}$ ($40 > 25,36$).

Завдання для самостійної роботи

Вибрати запобіжники для захисту електроприймачів, які позначені на схемі рисунку 7.2.

Від силового розподільчої шафи **РЩ** живляться електродвигуни **М1** та **М2**, освітлювальна мережа **НЛ**. Шафа **РЩ** отримує живлення від підстанції **Т**. Напруга мережі **U = 380 В**. Навантаження приймачів наведено у таблиці 7.1, згідно варіанту.

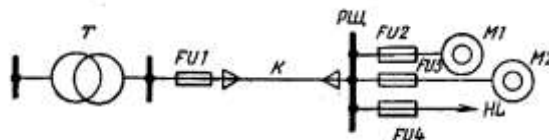


Рисунок 3.1 - Схема силової електричної мережі

Таблиця 7.1 – Вихідні дані для розрахунків

Варіант	Вихідні дані				
	M1		M2		HL
	$I_{расч. M1}, A$	$I_{пM1}, A$	$I_{расч. M2}, A$	$I_{пM2}, A$	$I_{расч. HL}, A$
1	9,1	41,3	3,5	18,2	3,2
2	4,5	28,6	8,7	39,3	5,2
3	15,2	60,4	6,3	34,7	4,1
4	7,3	36,1	3,2	16,7	3,9
5	5,9	31,0	7,0	34,9	4,6
6	8,7	39,3	7,3	36,1	3,7
7	7,0	34,9	4,5	28,6	4,9
8	3,5	18,2	15,2	60,4	2,5
9	6,0	33,0	7,3	36,1	2,9
10	3,2	16,7	4,5	28,6	4,3
11	6,3	34,1	9,1	41,3	3,9
12	3,4	19,4	4,5	28,6	4,6
13	7,5	36,9	15,2	60,4	3,7
14	8,1	42,0	3,5	18,2	3,2
15	5,6	29,8	6,0	33,0	5,2
16	4,2	27,9	3,2	16,7	4,1
17	3,2	16,7	6,3	34,1	4,6
18	7,0	34,9	3,4	19,4	3,7
19	7,3	36,1	7,5	36,9	4,9
20	4,5	28,6	8,1	42,0	2,5
21	4,5	28,6	7,3	36,1	2,9
22	15,2	60,4	5,9	31,0	3,2
23	3,5	18,2	8,7	39,3	5,2
24	6,0	33,0	7,0	34,9	4,1
25	4,5	28,6	7,0	34,9	3,9

Вказівки щодо оформлення звіту.

Звіт повинен містити титульну сторінку, оформлену відповідно до встановлених вимог, із зазначенням теми роботи, даних здобувача, групи та дати виконання. У вступі необхідно описати мету та завдання роботи. Основна частина звіту має включати розрахунок згідно індивідуального завдання. У висновках необхідно підсумувати результати виконаної роботи. Графічні матеріали повинні бути виконані чітко та з дотриманням стандартів.

Контрольні питання

1. По якій умові обираються номінальний струм запобіжника?
2. По якій умові обираються номінальний струм плавкої вставки запобіжника?
3. По яким умовам перевіряються обрані проводи?
4. Яким чином розраховується струм магістральної мережі з декількома споживачами?
5. Яка умова повинна виконуватися при виборі запобіжника магістральної мережі по відношенню до групової?

Практичне заняття №8.

Перевірки захисних апаратів на чутливість та комутаційну здатність

Навчальний час: 4 години.

Мета заняття: вивчити методику та оволодіти практичними навичками перевірки захисних апаратів на спрацювання при струмах короткого замикання та комутаційну здатність.

Програма заняття:

1. Видати індивідуальне завдання кожному студенту. Завдання по варіанта наведено у таблиці 8.1.
2. Навести приклад виконання завдання.
3. Студентам виконати розрахунок струмів короткого замикання.
4. Отримані дані розрахунків звести у таблицю.

Основні теоретичні відомості

Перевірку автоматичних вимикачів на чутливість та комутаційну здатність проводять у наступному порядку.

На чутливість автоматичні вимикачі перевіряються по умові:

$$I_k^{(1)} \geq K_3 K_P I_{отс}. \quad (8.1)$$

де: $I_k^{(1)}$ - струм однофазного короткого замикання петлі «фазний провід - нульовий провід», А;

$I_{отс}$ - струм відсічки електромагнітного розчеплювача, А;

K_3 - коефіцієнт запасу; $K_3 = 1,1$;

K_P - коефіцієнт розбросу струму спрацювання відсічки; $K_P = 1,4$

1. Визначають струм однофазного короткого замикання в мережі до найбільш віддаленого електроприймача:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{26}{S_H} + Z_\Pi} \quad (8.2)$$

де: U_ϕ - фазна напруга, В;

S_H - номінальна потужність трансформатора, кВт;

Z_Π - опір петлі «фазний провід - нульовий провід», Ом.

2. Опір петлі «фазний провід - нульовий провід» Z_Π визначають по формулі:

$$Z_{\Pi 1} = R_{\phi 1} + R_{H1} \quad (8.3)$$

де: R_ϕ, R_H - відповідно, активні опори фазного і нульового проводів, Ом;

$$R_{\phi} = R_n = \rho \frac{l}{S} \quad (8.4)$$

де: ρ – питомий опір алюмінійового проводу, Ом мм /км;

l - довжина провідника, км.;

S - переріз провідника, мм

3. Загальний опір петлі дорівнює:

$$R_{\phi n} = R_{\phi} + R_n \quad (8.5)$$

4. Якщо мережа виконано проводами, які прокладені у трубах, то Z_n визначається за виразом:

$$Z_n = \sqrt{\left(R_{\phi \Sigma} + \frac{R_{H\Sigma} R_T}{R_{H\Sigma} + R_T} \right)^2 + (X_T'')^2} \quad (8.6)$$

де: $R_{\phi \Sigma}$, $R_{H\Sigma}$, R_T - суммарний активний опір фазного, нульового проводів і опір труби, відповідно, Ом.;

X_T'' - внутрішній індуктивний опір труби, Ом.;

5. Визначають струм відсічки автоматичного вимикача:

$$I_{отс} = k I_{н.емр} \quad (8.7)$$

де $I_{н.емр}$ – номінальний струм електромагнітного розчеплювача автоматичного вимикача, А;

k - кратність відсічки (береться із паспортних або довідкових даних вимикача).

6. Перевіряють виконання умови (8.1)

7. На комутаційну здатність автомати перевіряють згідно умови :

$$I_{пр.откл.} > I_k^{(3)} \quad (8.8)$$

де: $I_{пр.откл.}$, $I_k^{(3)}$ - предельно відключаємий апаратом струм трифазного короткого замикання, відповідно, А .

8. Струм трифазного короткого замикання визначають по формулі]:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \sqrt{(\Sigma R_K)^2 + (\Sigma X_K)^2}} \quad (8.9)$$

де: $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга, В;

ΣR_K , ΣX_K –відповідно, суми опорів кола трифазного короткого замикання, Ом.

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_k &= \mathbf{R}_T + \mathbf{R}_\Phi \\ \mathbf{X}_k &= \mathbf{X}_T + \mathbf{X}_\Phi \end{aligned} \quad (9.10)$$

де: $\mathbf{R}_T$, $\mathbf{X}_T$ - відповідно, активна і реактивна складові повного опору трансформатора Z_T при трифазном коротком замиканні, Ом;
 $\mathbf{R}_\Phi$, $\mathbf{X}_\Phi$ - відповідно, активний і реактивний опір проводів до точки короткого замикання, Ом

9. Визначають значення активної і реактивної складових повного опору трансформатора Z_T при трифазном коротком замиканні:

$$Z_T = \frac{U_K \% \cdot U_{\text{л}}^2}{100 S_n} \quad (8.11)$$

де: $U_K \%$ - напруга короткого замикання трансформатора, %;
 $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга, В;
 S_n - номінальна потужність трансформатора, кВт;

$$\mathbf{R}_T = \frac{\Delta P_m \cdot U_{\text{л}}^2}{S_n^2}; \quad \mathbf{X}_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (8.12)$$

де: ΔP_m - втрати короткого замикання трансформатора, Вт;

$$\mathbf{X}_\Phi = X'' l_1 \quad (8.13)$$

де: X'' - індуктивний опір проводу, Ом/км; $X'' = 0,0157$ Ом/км;
 l_1 - довжина проводів до точки короткого замикання, км.

10. Визначають ударний струм $i_{\text{уд}}$ за виразом:

$$i_{\text{уд}} = k_{\text{уд}} \cdot I_k^{(3)} \quad (8.14)$$

де: $k_{\text{уд}}$ - ударний коефіцієнт; $k_{\text{уд}} = 1$

11. Визначають предельно відключаємий апаратом струм трифазного короткого замикання $I_{\text{пр.откл}}$ (береться із паспортних або довідкових даних вимикача)

12. Перевіряють автоматичний вимикач по умові (8.8)

Приклад. Провести перевірку автоматичних вимикачів QF – QF3 (див. схему рисунку 8.1). Вихідні дані для розрахунку: типа автомату АЕ2013; $K_3 = 1,1$; $K_p = 1,4$; $k = 12$; $U_\Phi = 220$ В; $S_n = 100$ кВА; $\rho = 31,4$ Ом мм/км; $l = 42$ м; $S = 25$ мм²; $X_T'' = 0,341$ Ом; $U_K \% = 4,5$ %; $\Delta P_m = 1970$ Вт; $X''_{np} = 0,0157$ Ом/км; $k_{\text{уд}} = 1$; $I_{\text{пр.откл.}} = 2,5$ кА.

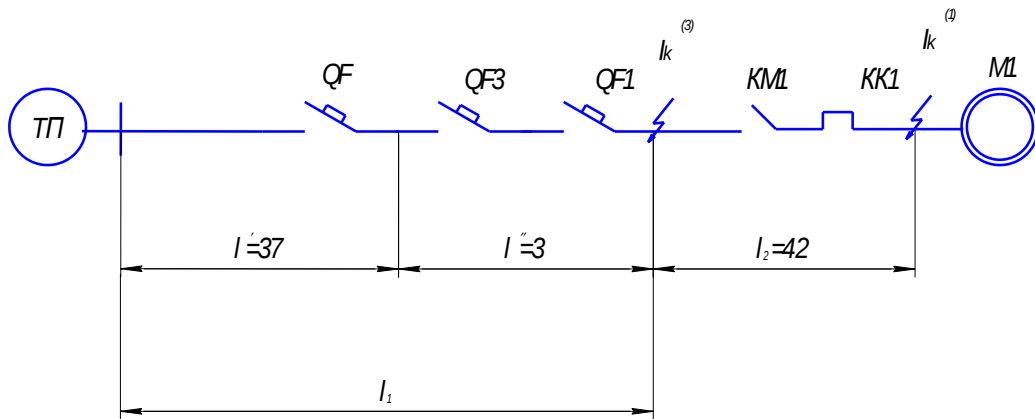


Рисунок 8.1 – Схема силової мережі

Рішення.

1. На чутливість автоматичні вимикачі перевіряються по умові (8.1):

1.1 Визначаємо значення $K_3 \cdot K_p \cdot I_{отс}$:

$$K_3 \cdot K_p \cdot I_{отс} = 1,1 \cdot 1,4 \cdot 12 \cdot 10 = 184,8 \text{ А}$$

1.2. Так як на ділянці від ТП до силового розподільного щита прокладено чотирьохжильним кабелем з алюмінієвими жилами Z_n визначаємо по формулам (8.3 – 8.4):

$$R_{\phi 1} = R_{n1} = 31,4 \cdot \frac{0,04}{25} = 0,05 \text{ Ом}$$

1.3. На ділянці **QF3 - М1** мережа виконано чотирма проводами АПВ, які прокладено у трубах, тому Z_n визначаємо за виразом (8.6):

$$Z_n = \sqrt{\left(R_{\phi\Sigma} + \frac{R_{H\Sigma} R_T}{R_{H\Sigma} + R_T} \right)^2 + (X_T'')^2}$$

$$R_T = 7,6 \cdot 0,042 = 0,82 \text{ Ом};$$

$$X_T = 0,341 \cdot 0,042 = 0,014 \text{ Ом}$$

$$R_{\phi} = R_n = \frac{31,4 \cdot 0,042}{2,5} = 0,53 \text{ Ом}$$

1.4. Загальний опір петлі дорівнює:

$$R_{\phi} = R_{\phi 1} + R_{\phi} = R_n$$

$$R_{\Phi} = R_H = 0,05 + 0,53 = 0,58 \text{ Ом}$$

$$Z_H = \sqrt{\left(0,58 + \frac{0,58 \cdot 0,82}{0,58 + 0,82}\right)^2 + (0,014)^2} = 0,786 \text{ Ом}$$

1.5 Визначаємо струм однофазного короткого замикання в мережі до найбільш віддаленого електроприймача (8.2):

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{26}{S_H} + Z_H}$$

$$I_k^{(1)} = \frac{220}{\frac{26}{100} + 0,786} = 210,3 \text{ А.}$$

Так як $I_k^{(1)} = 210,3 > K_3 K_p I_{отс.} = 184,8$, то автоматичний вимикач відключить мережу при однофазному короткому замиканню на затискачах двигуна **М1**.

2. На комутаційну здатність автомати перевіряють згідно умови (8.8):

2.1. Визначаємо значення активної і реактивної складових повного опору трансформатора Z_T при трифазном коротком замиканні (формули (8.11 – 8.13):

$$Z_T = \frac{U_{K\%} \cdot U_L^2}{100 S_H}$$

$$R_T = \frac{\Delta P_M \cdot U_L^2}{S_H^2} ; \quad X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

де: ΔP_M - втрати короткого замикання трансформатора, Вт;

$$Z_T = \frac{4,5 \cdot 400^2}{100 \cdot 100 \cdot 10^3} = 0,072 \text{ Ом};$$

$$R_T = \frac{1970 \cdot 400^2}{(100 \cdot 10^3)^2} = 0,032 \text{ Ом};$$

$$X_T = \sqrt{(0,072)^2 - (0,032)^2} = 0,065 \text{ Ом.}$$

$$R_{\Phi} = \frac{3,14 \cdot 0,04 \cdot 2}{25} = 0,1 \text{ Ом.}$$

2.2. Струм трифазного короткого замикання визначають по формулі (8.9 – 8.10):

$$I_k^{(3)} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \sqrt{(\Sigma R_K)^2 + (\Sigma X_K)^2}}$$

$\Sigma R_K, \Sigma X_K$ – відповідно, суми опорів кола трифазного короткого замикання, Ом.

$$R_K = R_T + R_\phi$$

$$X_K = X_T + X_\phi$$

$$X_\phi = X'' l_1$$

$$X_\phi = 0,075 \cdot 0,04 = 0,001 \text{ Ом};$$

$$R_K = 0,032 + 0,1 = 0,132 \text{ Ом};$$

$$X_K = 0,065 + 0,001 = 0,066 \text{ Ом}.$$

$$I_k^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,132^2 + 0,066^2}} = 1,568 \text{ кА}$$

2.3. Визначають ударний струм $i_{\text{уд}}$ за виразом (8.14):

$$i_{\text{уд}} = k_{\text{уд}} \cdot I_K^{(3)}$$

де: $k_{\text{уд}}$ - ударний коефіцієнт ; $k_{\text{уд}} = 1$

$$i_{\text{уд}} = 1,568 \text{ кА}$$

2.4. Визначаємо предельно відключаємий апаратом струм трифазного короткого замикання $I_{\text{пр.откл}}$ (береться із паспортних або довідкових даних вимикача)

$$I_{\text{пр.откл}} = 2,5 \text{ кА}$$

2.5. Перевіряємо автоматичний вимикач по умові (8.8)

Так як для **QF1**типа **AE2013** $I_{\text{пр.откл.}} = 2,5 \text{ кА}$, т.т $I_{\text{пр.откл}} = 2,5 \text{ кА} > i_{\text{уд}} = 1,568 \text{ кА}$, то даний автоматичний вимикач проходить по комутаційній здатності.

Завдання для самостійної роботи

Провести перевірку автоматичних вимикачів QF – QF3 (див. схему рисунку 8.1). Вихідні дані для розрахунку наведено у таблиці 8.1 згідно варіанту. При розрахунках прийняти: $K_3 = 1,1$; $K_p = 1,4$; $U_\phi = 220 \text{ В}$; $\rho_{\text{Al}} = 31,4 \text{ Ом мм/км}$; $\rho_{\text{Cu}} = 17,8 \text{ Ом мм/км}$; $X''_T = 0,341 \text{ Ом}$; $X''_{np} = 0,0157 \text{ Ом/км}$; $k_{\text{уд}} = 1$; $I_{\text{ном. дв.}} = 7 \text{ А}$.

Таблиця 8.1 – Вихідні дані для розрахунків

Варіант	Вихідні дані								
	Тип автомату	Кратність відсічк и, к	Інр. А	Потужність трансформатора S_n , кВА	Довжина l , м	Переріз Проводу S , мм ²	Напруга к.з. тр-ра $U_k\%$	Втрати в міді тр-ра ΔP_m , Вт	Предельно вимикаючий струм $I_{пр.откл.}$, кА
1	AE2013	12	8,0	160	60	16	4,7	1860	2,7
2	AE2026	12	8,0	100	50	25	4,3	1960	2,3
3	AE2023	12	8,0	250	65	25	4,9	2100	3,1
4	BA51-25	10	8,0	100	50	10	5,1	2150	3,8
5	BA51-25	10	8,0	160	80	16	5,3	2250	3,0
6	BA51-25	10	8,0	250	70	10	4,7	1950	3,2
7	BA51-31	7	16,0	250	50	16	4,1	1850	4,5
8	BA51-31	3	16,0	100	60	25	4,6	1970	5,0
9	AE2023	12	10,0	63	55	10	4,3	1860	2,0
10	AE2043	12	12,5	160	45	16	5,2	2100	2,5
11	AE2023	12	8,0	250	65	25	4,9	2100	3,1
12	BA51-25	10	8,0	100	50	10	5,1	2150	3,8
13	BA51-25	10	8,0	160	80	16	5,3	2250	3,0
14	AE2013	12	8,0	160	60	16	4,7	1860	2,7
15	AE2026	12	8,0	100	50	25	4,3	1960	2,3
16	AE2043	12	12,5	160	70	10	4,7	1950	3,2
17	BA51-25	10	8,0	250	70	10	4,7	1950	3,2
18	BA51-31	7	16,0	250	50	16	4,1	1850	4,5
19	BA51-31	14	8,0	100	55	25	4,3	2100	3,1
20	BA51-31	10	8,0	160	45	10	5,2	2150	3,8
21	BA51-31	3	16,0	100	60	25	4,6	1970	5,0
22	AE2023	12	10,0	160	65	25	4,5	1860	0,95
23	AE2043	12	12,5	100	50	10	4,9	1970	0,80
24	AE2023	12	10,0	63	55	10	4,3	1860	2,0
25	BA51-33	14	80,0	250	40	16	4,6	1970	5,0

Вказівки щодо оформлення звіту.

Звіт повинен містити титульну сторінку, оформлену відповідно до встановлених вимог, із зазначенням теми роботи, даних здобувача, групи та дати виконання. У вступі необхідно описати мету та завдання роботи. Основна частина звіту має включати розрахунок згідно індивідуального завдання. У висновках необхідно підсумувати результати виконаної роботи. Графічні матеріали повинні бути виконані чітко та з дотриманням стандартів.

Контрольні питання

1. По якій умові перевіряється автоматичний вимикач на чутливість?
2. По якій умові перевіряється автоматичний вимикач на комутаційну здатність?
3. Яким чином розраховується струм однофазного короткого замикання в мережі?
4. Яким чином розраховується струм трифазного короткого замикання в мережі?
5. Яким чином розраховуються значення активної і реактивної складових повного опору трансформатора Z_T при трифазном коротком замиканні?

Практичне заняття №9. Проектування системи електропостачання об'єкту

Навчальний час: 4 години.

Мета заняття: оволодіти практичними навичками щодо проектування системи електропостачання, вибору кількості та потужності трансформаторів

Програма заняття:

1. Видати індивідуальне завдання кожному студенту. Завдання по варіанта наведено у таблиці 9.1
2. Навести приклад виконання завдання
3. Виконати розрахунок електричних навантажень на окремих ділянках мережі згідно завдання.
4. Виконати вибір кількості та потужності силових трансформаторів.

Основні теоретичні відомості

Розрахунок електричних навантажень на окремих ділянках лінії залежить від характеру та розміру навантаження споживачів. Якщо навантаження в мережі 0,38 кВ однорідні (однаковий характер навантаження) та сумірні (не відрізняються більш ніж в чотири рази), то навантаження окремої ділянки лінії визначають шляхом підсумовування розрахункових навантажень на вводах до споживачів з урахуванням коефіцієнта одночасності, окремо для денного та вечірнього максимумів:

$$P_{p.d.} = k_o \cdot \sum P_{di}, \quad (9.1)$$

$$P_{p.v.} = k_o \cdot \sum P_{vi}, \quad (9.2)$$

де k_o – коефіцієнт одночасності;

P_{di} і P_{vi} – навантаження денного і вечірнього максимумів i -го споживача, кВт.

Коефіцієнт одночасності k_o вибираємо із таблиць в залежності від кількості споживачів і характеру навантаження мережі.

Для групи житлових будинків навантаження вечірнього максимуму на вводі дорівнює:

$$P_B = n \cdot k_o P_o, \quad (9.3)$$

де n – кількість будинків у групі, шт.;

k_o – коефіцієнт одночасності;

P_o – розрахункове навантаження на вводі в житловий будинок, кВт.

Навантаження денного максимуму на вводі до групи житлових будинків:

$$P_D = 0,3 P_B. \quad (9.4)$$

Якщо навантаження споживачів відрізняються більш ніж в чотири рази (несумірні), то вони підсумовуються за допомогою надбавок. При цьому до більшого із навантажень прибавляють надбавку від меншого:

$$P_{\bar{o}} > P_m, \quad P_p = P_{\bar{o}} + \Delta P_m, \quad (9.5)$$

де P_{δ} – більше з навантажень, кВт;

ΔP_m – надбавка від меншого навантаження, кВт.

Додавання різнорідних навантажень (навантажень побутових, комунальних та виробничих споживачів) виконується також за допомогою надбавок.

Розрахунок навантажень виконують поступово для усіх ділянок лінії напругою 0,38 кВ, в напрямку – з кінця лінії до підстанції.

Коефіцієнт потужності споживачів визначається із літературних джерел, а для групи споживачів він визначається як середньозважене значення:

$$\cos \varphi_{с.з.} = \frac{\sum P_i \cdot \cos \varphi_i}{\sum P_i} \quad (9.6)$$

де P_i – навантаження (денне або вечірнє) i -го споживача, кВт;

$\cos \varphi_i$ – коефіцієнт потужності (денний або вечірній) i -го споживача.

Потужність зовнішнього освітлення населеного пункту:

$$P_{з.о.} = L \cdot P_{0 \text{ вул.}} + N \cdot P_{0 \text{ прим.}} \quad (9.7)$$

де L – загальна довжина вулиць у населеному пункті, м;

N – кількість виробничих та комунальних приміщень, шт.;

$P_{0 \text{ вул.}}, P_{0 \text{ прим.}}$ – нормативне навантаження зовнішнього освітлення, відповідно на один погонний метр вулиці та на одне виробниче приміщення, кВт. (на погонний метр величина становить 4 Вт, для освітлення дворів промислових споживачів 250 Вт)

Повна розрахункова потужність на ділянці лінії S_p , кВА, визначається через коефіцієнт потужності навантаження:

$$S_{p.в.} = \frac{P_{p.д.}}{\cos \varphi_{\delta}}; \quad S_{p.в.} = \frac{P_{p.в.}}{\cos \varphi_{\epsilon}} \quad (9.8)$$

Таблиця 1. Визначення розрахункових навантажень

Ділянка	Більше навантаження		Менше навантаження		Надбавка		Розрахункове навантаження		$\cos \varphi_{\delta}$	$\cos \varphi_{\epsilon}$	$S_{p.д.}$, кВА	$S_{p.в.}$, кВА
	P_{δ} , кВт	P_{ϵ} , кВт	P_{δ} , кВт	P_{ϵ} , кВт	ΔP_{δ} , кВт	ΔP_{ϵ} , кВт	$P_{pд}$, кВт	$P_{pв}$, кВт				

Вибір встановленої потужності трансформаторів одно- та двотрансформаторних підстанцій виконується із умови їхньої роботи в нормальному режимі за економічними інтервалами навантажень:

$$S_{EK. \min} \leq \frac{S_{P_{нид.}}}{n} \leq S_{EK. \max} \quad (9.9)$$

де $S_{P_{\text{н\ddot{o}}d}}$ – розрахункове навантаження підстанції, кВА;
 n – кількість трансформаторів, шт.;
 $S_{EK, \text{min}}, S_{EK, \text{max}}$ – мінімальна і максимальна межа економічного інтервалу навантаження трансформатора прийнятої номінальної потужності, кВА.

Прийнятну номінальну потужність трансформатора перевіряємо із умови його роботи у нормальному режимі експлуатації за допустимими систематичними навантаженнями. Для забезпечення нормального режиму експлуатації підстанції вибрану номінальну потужність трансформатора перевіряють за співвідношенням:

$$\frac{S_P}{n S_H} \leq k_C, \quad (9.10)$$

де S_P, S_H – відповідно, розрахункова і номінальна потужність трансформатора, кВА;

n – кількість трансформаторів, шт.;

k_C – коефіцієнт допустимого систематичного навантаження.

$$k_C = k_{cm} - \alpha (t_n - t_{nm}), \quad (9.11)$$

де k_{cm} – табличне значення коефіцієнта допустимого систематичного навантаження, яке відповідає табличній середньодобовій температурі;

α – розрахунковий температурний градієнт, $1/^\circ\text{C}$;

t_n – середньодобова температура повітря, $^\circ\text{C}$;

t_{nm} – середньодобова таблична температура повітря, $^\circ\text{C}$.

Приклад виконання завдання.

Завдання. Житлові будинки в газифікованому населеному пункті переважно старої забудови зібрані в групи по п'ять будинків. Для будинку в населеному пункті нової забудови становить $P_{\text{max}} = 2,2$ кВт. Навантаження (P_ϕ/P_ϵ , кВт), коефіцієнти потужності ($\cos \phi_\phi/\cos \phi_\epsilon$) інших споживачів та довжини ділянок лінії (l , м) показані на схемі (рис.9.1). Периметри виробничих та комунальних дворів – 100 м кожний.



Рисунок 9.1 – Розрахункова схема повітряної лінії 0,38 кВ
Розв’язання.

Максимум денного та вечірнього навантаження групи з п'яти будинків визначаємо через коефіцієнт одночасності:

$$P_{\epsilon} = n \cdot k_o \cdot P_{\max};$$

$$P_{\epsilon} = 5 \cdot 0,53 \cdot 2,2 = 5,83 \text{ кВт.}$$

$$P_{\delta} = \kappa_{\delta} \cdot P_{\epsilon};$$

$$P_{\delta} = 0,3 \cdot 5,83 = 1,75 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність зовнішнього освітлення:

$$P_{3.o.} = L \cdot P_{0 \text{ вул.}} + N \cdot P_{0 \text{ прим.}};$$

$$P_{3.o.} = 260 \cdot 10 + 3 \cdot 250 = 3350 \text{ Вт} = 3,35 \text{ кВт.}$$

Визначаємо навантаження на ділянках лінії 0,38 кВ. Так як навантаження неоднорідні і не сумірні, то їх підсумовування виконуємо методом надбавок. Розрахунок розпочинаємо з кінця лінії (рисунок 9.1).

$$P_p = P_{\delta} + \Delta P_m.$$

$$P_{p.\delta.7-6} = P_{\delta} = 1,75 \text{ кВт}; \quad P_{p.\epsilon.7-6} = P_{\epsilon} = 5,83 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.\delta.6-3} = 15 + \Delta 1,75 = 15 + 1,05 = 16,05 \text{ кВт};$$

$$P_{p.\epsilon.6-3} = 5,83 + \Delta 5 = 5,83 + 3 = 8,83 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.\delta.4-3} = P_{\delta} = 1,75 \text{ кВт}; \quad P_{p.\epsilon.4-3} = P_{\epsilon} = 5,83 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.\delta.5-3} = P_{\delta} = 1,75 \text{ кВт}; \quad P_{p.\epsilon.5-3} = P_{\epsilon} = 5,83 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.\delta.3-2} = 16,05 + \Delta 1,75 + \Delta 1,75 = 16,05 + 1,05 + 1,05 = 18,15 \text{ кВт};$$

$$P_{p.\epsilon.3-2} = 8,83 + \Delta 5,83 + \Delta 5,83 = 8,83 + 3,50 + 3,50 = 15,83 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.\delta.2-1} = 20,00 + \Delta 18,15 = 20,00 + 11,30 = 31,30 \text{ кВт};$$

$$P_{p.\epsilon.2-1} = 20,00 + \Delta 15,83 = 20,00 + 9,70 = 29,70 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.\delta.1-0} = 31,30 + \Delta 15,00 = 31,30 + 9,15 = 40,45 \text{ кВт};$$

$$P_{p.\epsilon.1-0} = 29,70 + \Delta 25,00 = 29,70 + 15,70 = 45,40 \text{ кВт.}$$

Визначаємо коефіцієнт потужності окремих споживачів, а на ділянках лінії визначаємо його середньозважене значення:

$$\cos \varphi_{\delta 7-6} = 0,90; \quad \cos \varphi_{\epsilon 7-6} = 0,93;$$

$$\cos \varphi_{c.3.} = \frac{\sum P_i \cdot \cos \varphi_i}{\sum P_i}.$$

$$\cos \varphi_{\delta 6-3} = \frac{15 \cdot 0,85 + 1,75 \cdot 0,9}{15 + 1,75} = 0,86;$$

$$\cos \varphi_{\epsilon 6-3} = \frac{5 \cdot 0,9 + 5,83 \cdot 0,93}{5 + 5,83} = 0,92.$$

Визначаємо повну розрахункову потужність споживачів на ділянках лінії:

$$S_{p.\delta.} = \frac{P_{p.\delta.}}{\cos \varphi_{\delta.}}; \quad S_{p.\epsilon.} = \frac{P_{p.\epsilon.}}{\cos \varphi_{\epsilon.}}$$

$$S_{p.\delta.7-6} = \frac{1,75}{0,90} = 1,94 \text{ кВА}; \quad S_{p.\epsilon.7-6} = \frac{5,83}{0,93} = 6,27 \text{ кВА}.$$

$$S_{p.\delta.6-3} = \frac{16,05}{0,86} = 18,70 \text{ кВА}; \quad S_{p.\epsilon.6-3} = \frac{8,83}{0,92} = 9,60 \text{ кВА}.$$

Розрахунок навантажень на інших ділянках лінії виконуємо аналогічно. Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.1.

Таблиця 9.1 – Визначення розрахункових навантажень в лінії 0,38кВ

Ділянка	Більше навантаження		Менше навантаження		Надбавка		Розрахункове навантаження		$\cos \varphi_{\delta.}$	$\cos \varphi_{\epsilon.}$	$S_{p.\delta.}$, кВА	$S_{p.\epsilon.}$, кВА
	$P_{\delta.}$, кВт	$P_{\epsilon.}$, кВт	$P_{\delta.}$, кВт	$P_{\epsilon.}$, кВт	$\Delta P_{\delta.}$, кВт	$\Delta P_{\epsilon.}$, кВт	$P_{p\delta.}$, кВт	$P_{p\epsilon.}$, кВт				
7-6	1,75	5,83	-	-	-	-	1,75	5,83	0,90	0,93	1,94	6,27
6-3	15,00	5,83	1,75	5,00	1,05	3,00	16,05	8,83	0,86	0,92	18,70	9,60
4-3	1,75	5,83	-	-	-	-	1,75	5,83	0,90	0,93	1,94	6,27
5-3	1,75	5,83	-	-	-	-	1,75	5,83	0,90	0,93	1,94	6,27
3-2	16,05	8,83	1,75	5,83	1,05	3,50	18,15	15,83	0,87	0,92	20,86	17,20
			1,75	5,83	1,05	3,50						
2-1	20,00	20,00	18,15	15,83	11,30	9,70	31,30	29,70	0,82	0,86	38,17	34,53
1-0	31,30	29,70	15,00	25,00	9,15	15,70	40,45	45,40	0,83	0,89	48,73	51,01

Для подальших розрахунків приймаємо значення більшого навантаження $S_{\Sigma TP} = S_{\Sigma p\epsilon} = 51,01 + 3,35 = 54,36 \text{ кВА}$.

Приймаємо до установки два силових трансформатора потужністю 40 кВА кожен.

Тоді

$$S_{ек.min} = 51 \text{ кВА}; S_{ек.max} = 85 \text{ кВА},$$

$$51 < \frac{54,36}{1} = 54,36 < 85$$

Умова виконується.

Обрану номінальну потужність трансформаторів необхідно перевірити на виконання умови роботи у нормальному режимі роботи за допустимими

систематичними перевантаженнями. З метою забезпечення нормальних режимів експлуатації ТП вибрану номінальну потужність трансформатора перевіряють за умовою:

$$\frac{S_P}{n S_H} \leq k_c \quad (2.12)$$

де S_P , S_H – величина розрахункової та номінальної потужності трансформаторів ТП, кВА;

k_c – значення коефіцієнта допустимих систематичних перевантажень.

$$k_c = k_{cm} - \alpha (t_n - t_{nm}) \quad (2.13)$$

де k_{cm} – значення табличного коефіцієнта допустимого систематичного перевантаження, яке відповідає табличному значенню середньодобової температури;

α – значення розрахункового температурного градієнта, $1/^\circ\text{C}$;

t_n – величина середньодобової температури повітря, $^\circ\text{C}$;

t_{nm} – величина середньодобової табличної температури повітря, $^\circ\text{C}$.

$$k_c = 1.58 - 1 \cdot 10^{-2} \cdot (10,2 - (-10)) = 1,37$$

$$\frac{54,36}{1 \cdot 40} = 1,36 < 1,37$$

Умова виконується.

Отже, остаточно приймаємо до установки трансформатор потужністю 40 кВА.

Завдання для самостійної роботи

Житлові будинки в газифікованому населеному пункті переважно старої забудови зібрані в групи по чотири будинки. Навантаження (P_d/P_e , кВт), коефіцієнти потужності ($\cos \varphi_d / \cos \varphi_e$) інших споживачів та довжини ділянок лінії (l , м) показані на схемі (рис. 9.2). Периметри виробничих та комунальних дворів – 100 м кожний. Варіанти навантаження лінії показано в таблиці 9.2.

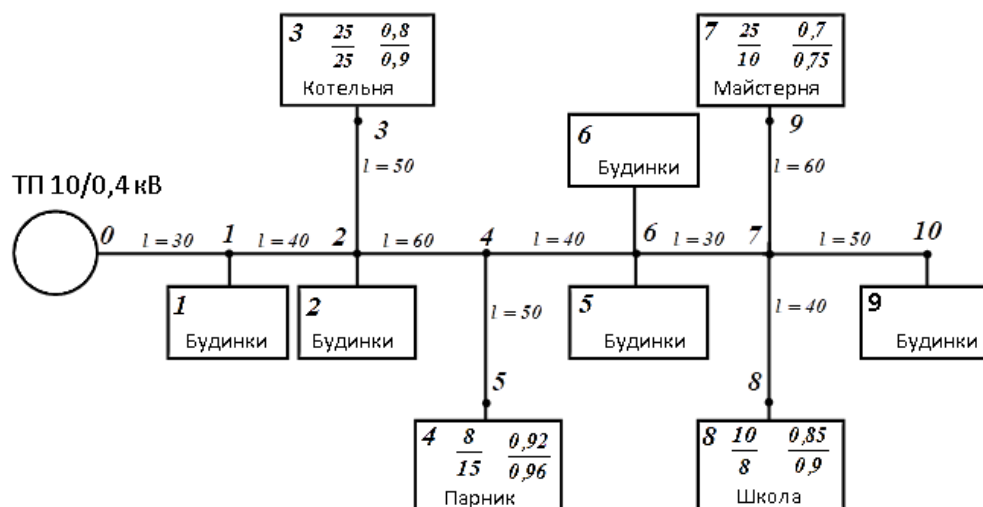


Рис. 9.2. - Розрахункова схема лінії 0,38 кВ.

Таблиця 1.2 – Варіанти навантаження повітряної лінії 0,38 кВ

		Варіант																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Навантаження лінії	1	2	2	3	4	5	3	4	8	6	3	5	3	5	4	1	2	3	2	1	4	3	2	3	4	
	2	4	3	4	5	6	5	6	7	5	8	2	9	8	3	3	4	4	4	3	6	5	5	4	3	
	3	6	4	5	6	7	7	8	3	3	7	8	7	1	5	5	5	5	8	4	8	6	6	6	9	
	4	9	5	6	7	8	9	7	2	7	9	7	1	3	6	8	6	9	9	6	9	8	7	8	1	
	5	7	6	7	8	9	4	3	1	2	2	3	2	7	9	9	10	10	10	9	10	10	8	9	2	

На підставі розрахункової схеми визначити:

1. Розрахункові навантаження на окремих ділянках лінії 0,38 кВ.
2. Загальну потужність зовнішнього освітлення вулиці.
3. Розрахункову потужність силових трансформаторів. Вибрати кількість та номінальну потужність трансформаторів.

Вказівки щодо оформлення звіту.

Звіт повинен містити титульну сторінку, оформлену відповідно до встановлених вимог, із зазначенням теми роботи, даних здобувача, групи та дати виконання. У вступі необхідно описати мету та завдання роботи. Основна частина звіту має включати розрахунок згідно індивідуального завдання. У висновках необхідно підсумувати результати виконаної роботи. Графічні матеріали повинні бути виконані чітко та з дотриманням стандартів.

Контрольні питання

1. Які основні етапи розрахунку електричних навантажень у мережі?
2. Як визначити потужність силового трансформатора для певного об'єкта?
3. Яким чином враховується коефіцієнт потужності при виборі обладнання?
4. Які параметри необхідно знати для правильного підбору трансформатора?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.
2. Проєктування систем електрифікації та автоматизації АПК : підручник / І. І. Мартиненко, В. П. Лисенко, Л. П. Тищенко, І. М. Болбот, П. В. Олійник. – К. : НМЦ Мін-ва аграрної політики України, 2008. – 330.
3. Яковлев В.Ф., Куценко Ю.М., Квітка С.О., Проєктування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Загальні питання проєктування: Навчальний посібник/ За заг. ред. проф.. В.Ф. Яковлева. Мелітополь: Люкс, 2010. – 106 с.
4. Ермолаєв С. А., Яковлев В.Ф., Козирський В.В., Куценко Ю.М., Мунтян В.О., Радько І.П. Проєктування систем електропостачання в АПК (підручник) Міністерство аграрної політики України. – Київ.: ЦТІ «Енергетики та електрифікації», 2009.- 544с.
5. Яковлев В.Ф., Мунтян В.О., Куценко Ю.М., Кондратенко О.Г. Проєктування систем електропостачання в АПК. Принципи побудови СЕП (навчальний посібник). Мелітополь: Видавництво:«Люкс»,2007.-178с.
6. Яковлев В.Ф., Мунтян В.О., Куценко Ю.М., Коваль Д.М., Ільїн Д.В. Проєктування систем електропостачання в АПК. Електрична частина підстанцій (навчальний Мелітополь: Видавництво «Люкс»,2007.-177с.
7. Технологія наукових досліджень електроенергетичних систем в аграрному виробництві: Навчальний посібник / Г.Б. Іноземцев, В.В. Козирський. За ред. Г.Б. Іноземцеві. – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011– 198 с.
8. Основи електроприводу: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.Ю. Синявський, В.В. Савченко; За ред. Ю.М. Лавріненка. –К.: 2010
9. Електричне освітлення та опромінення: навчальний посібник для студентів вищ. Навч. Закл. / Р.В. Кушлик, В.Ф. Яковлев, Ю.М. Куценко, М.Л. Лисиченко, П.М. Кунденко, Ю.М. Федюшко – Х: ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 332 с.
10. Дипломне проєктування зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Методичні рекомендації. Частина 2 «Проєктування внутрішньої силової розподільчої мережі. Вибір та перевірка пуско-захисної апаратури» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» / С.О. Квітка, М.В. Постнікова. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – 76 с.
11. Никифорова Л. Е. Нормативна документація з проєктування систем електрифікації та енергопостачання сільського господарства : навч. посібн. / Л. Е. Никифорова, Ю. О. Богатирьов. – Мелітополь : Люкс, 2010. – 180 с.

Савойський Олександр Юрійович
Чепіжний Андрій Володимирович
Вольвач Тетяна Сергіївна
Лисенко Віта Василівна

ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ АПВ

Методчні вказівки щодо виконання практичних робіт

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул.Г. Кондратьєва,160

Підписано до друку: січень 2025 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman

Тираж: ____ примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк. 2,2
