

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ – 1.
Проектування АСК

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

Рекомендовано Вченою радою інженерно-хімічного факультету

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2017

Проектування систем керування-1. Проектування АСК:
Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи
для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології» / Уклад.: Я. Ю. Жураковський, А. І.
Жученко, М. З. Кваско, О. С. Жураковська, – К.: КПІ ім. Ігоря
Сікорського, 2017. – 82 с.

*Гриф надано Вченою радою ІХФ
(Протокол № 8 від 23 жовтня 2017 р.)*

Навчальне видання

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ - 1.

Проектування АСК

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної
роботи для студентів спеціальності
151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Укладачі: Жураковський Ярослав Юрійович, ст. викл
Жученко Анатолій Іванович, д.т.н., проф.
Кваско Михайло Зіновійович, к.т.н., проф.
Жураковська Оксана Сергіївна, к.т.н., доц.

Відповідальний

редактор А.І. Жученко, д.т.н., проф.

Рецензент В. М. Ковалевський, к.т.н.

Авторська редакція

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. СХЕМИ ПРИНЦИПОВІ	6
1.1. Схеми електричні принципові	6
1.2. Схеми електричні принципові живлення	32
2. НОМЕНКЛАТУРА І ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ, ЯКІ ПОСТАЧАЮТЬСЯ КОМПЛЕКТНО ЗІ ЩИТАМИ І ПУЛЬТАМИ	41
3. РОЗРАХУНКИ З ВИБОРУ ОКРЕМИХ ВИДІВ АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ	47
4. ПРИКЛАДИ УСТАНОВКИ АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ В ЖИВИЛЬНОЇ І РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	54
5. РОЗРАХУНОК ПЕРЕРІЗУ ЖИЛ ПРОВODІВ І КАБЕЛІВ.....	59
6. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКІВ З ВИБОРУ АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ, ЗАХИСТУ ТА ПЕРЕРІЗУ ЖИЛ ПРОВODІВ І КАБЕЛІВ	63
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	81

ВСТУП

Як показує досвід, навчальна робота студентів найбільш ефективно реалізується при самостійному вивченню лекційного матеріалу, літературних джерел, на практичних заняттях і при виконанні курсового проекту.

Сама назва курсу «Проектування систем керування» говорить про те, що кінцевим результатом його вивчення повинен бути проект автоматизації технологічного процесу – об'єкту автоматизації. Термін «Проект» виник від латинського слова “Projectus”, що в перекладі означає «кинутий вперед», «виступаючий».

Сам проект – комплект документації і матеріалів нового зразка. Проект повинен реалізовуватись з використанням міжнародних і галузевих стандартів на базі технічних розрахунків, з використанням сучасних технічних засобів автоматизації.

Виконання і оформлення проекту базується на вивченні інженерних дисциплін, основних стандартів і правил по проектуванню систем управління.

При оформленні даної роботи необхідно враховувати досвід виконання проектів в спеціалізованих організаціях.

Мета роботи

РГР виконується після освоєння основних курсів, на базі вивчення технологічного процесу як об'єкту автоматизації.

У процесі роботи над РГР студент повинен:

- оволодіти методикою проектування і розрахунком систем;
- удосконалити свої навички у використанні науково-технічної літератури, довідників, стандартів і нормативних матеріалів;
- засвоїти методику оформлення проектної науково-технічної документації на базі сучасних стандартів і інших систем документації.

При проектуванні системи слід пам'ятати, що максимально необхідно використовувати науково-технічну літературу, діючі стандарти і нормативи, методичну документацію заводів (підприємств) – виготовлювачів технологічного устаткування, засобів контролю і управління, які, по можливості, одержують під час проходження практики.

Методичні вказівки

РГР складається із графічної частини і текстових матеріалів. Текстова частина містить постановку задачі роботи, короткий опис схеми живлення та результати розрахунків параметрів апаратів захисту та провідників. Графічна частина включає принципову електричну схему живлення приладів автоматизації та перелік елементів.

1. СХЕМИ ПРИНЦИПОВІ

В проектах автоматизації технологічними процесами в залежності від призначення та засобів автоматизації, що застосовуються, розробляють:

- принципіві електричні та пневматичні схеми контурів контролю, регулювання, керування та сигналізації;
- принципіві електричні та пневматичні схеми живлення.

Принципові електричні схеми керування електроприводами обладнання та трубопровідної арматури включають до складу основного комплекту при керуванні ними з щитів і пультів систем автоматизації.

Принципові схеми контурів контролю та регулювання допускається не розробляти, якщо взаємні зв'язки приладів і апаратів, що до них входять, прості та однозначні і можуть бути показані на інших кресленнях основного комплекту. Допускається сполучення схем різного функціонального призначення (наприклад, схеми живлення зі схемою керування) з дотриманням правил виконання цих схем, що наведені нижче.

1.1.Схеми електричні принципіві

Схеми електричні принципіві виконуються на стадії «Робоча документація». Розробляють такі схеми електричні:

- 1) схеми електричні принципіві живлення;
- 2) схеми електричні принципіві сигналізації і блокування;
- 3) схеми електричні принципіві контролю і автоматизації;

- 4) схеми електричні принципові управління електродвигунами і виконуючими механізмами.

На основі цих схем розробляються: монтажні схеми щитів і пультів, схеми зовнішніх з'єднань, схеми електричні контролю і автоматизації, схеми електричні принципові сигналізації і блокування та ін. Вони використовуються при монтажі і наладці системи автоматизації, а також дають можливості для вивчення принципу дії системи автоматизації.

Схеми електричні принципові виконуються, як правило, стосовно до окремих установок або ланок автоматизованої системи (наприклад, «Схема електрична принципова регулювання рівня», «Схема електрична принципова сигналізації роботи випарної установки»). При виконанні цих схем використовується розвернуте зображення елементів автоматизації.

1.1.1 Правила виконання схем

Схеми електричні принципові керування, регулювання, вимірювання, сигналізації, живлення, що входять до складу проектів автоматизації технологічних процесів, виконують відповідно до вимог державних стандартів за правилами виконання схем, умовним графічним позначенням, маркіруванню ланцюгів і літерно-цифрових позначень елементів схем.

Принципові електричні схеми слід виконувати на аркушах основних форматів за ГОСТ 2.301-68, крім формату А0. Допускається застосовувати додаткові формати А3×3, А4×3, А4×4.

При необхідності розробки у складі одного основного комплекту декількох схем різного функціонального призначення у найменуванні схем допускається вказувати назву функціональних ланок, наприклад:

схема електрична принципова живлення – АТХ.31;

схема електрична принципова управління – АТХ.32 і т.д.

На принципових електричних схемах систем автоматизації, у загальному випадку, слід зображати:

- 1) ланцюги електроживлення, управління, сигналізації, вимірювання, регулювання, силові ланцюги;
- 2) контакти апаратів даної схеми, зайняті у інших схемах, і контакти апаратів з інших схем;
- 3) діаграми і таблиці вмикання контактів перемикачів, програмних пристроїв, кінцевих та шляхових вимикачів, циклограми роботи апаратури;
- 4) таблиці застосовності;
- 5) пояснювальну технологічну схему, циклограму роботи обладнання, схему блокувальних залежностей роботи обладнання;
- 6) необхідні написи, пояснення, технічні вимоги;
- 7) перелік елементів;
- 8) основний напис.

Схеми виконуються без дотримання масштабу; дійсне просторове розташування складових частин системи автоматизації як правило не враховується. Вироби та їх частини на схемах показані у відключеному (знеструмленому) стані.

Графічне зображення елементів і лінії зв'язку, які їх з'єднують, необхідно прагнути розташовувати на схемі таким чином, щоб забезпечити найкраще представлення про взаємодію її складових

частин. Лінії повинні складатися з горизонтальних і вертикальних відрізків і мати найменше число зламів і перетинань.

Лінії зв'язку показують повністю. Якщо лінії ускладнюють читання схеми допускається їх обривати, місце обриву лінії зв'язку закінчується стрілкою, біля якої вказується позначення ланцюга (див. пп.). Лінії зв'язку що переходять на інший лист, обривають за межами зображення схем, вказується позначення ланцюга і номер аркуша схеми в круглих дужках (рис. 3.1). При переході на іншу схему того ж комплекту робочої документації, що виконана на декількох аркушах, поряд з обривом лінії вказують позначення ланцюга і в круглих дужках позначення схеми і номер її аркуша.

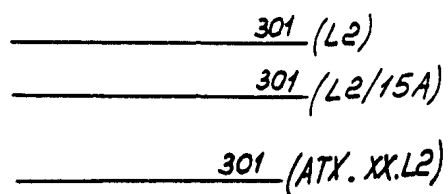


Рис. 3.1 – Позначення обриву ланцюга

Якщо використовується пристрій із самостійною принциповою схемою (наприклад, блок керування електродвигуном), то він показується на схемі у вигляді прямокутника, який окреслено суцільною лінією, що має товщину як і лінії зв'язку. Пристрою присвоюється позиційне позначення.

Елементи, які складають функціональну чи групу пристрій, який не має самостійної принципової схеми, виділяються штрихпунктирною лінією із вказівкою позиційного позначення цієї групи.

Елементи, які не входять в дану схему, але необхідні для пояснення принципу роботи (наприклад, контакти рівнеміра),

показують на схемі відокремленими штрихпунктирною лінією із вказівкою адресного позначення елементів.

1.1.2 Умовні графічні позначення

Елементи на схемі зображають у вигляді умовних графічних позначень.

Перелік стандартів, які найчастіше використовуються при виконанні принципів електричних схем, наведено в табл. 3.1.

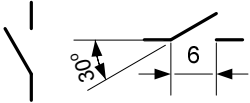
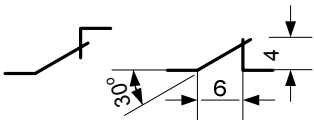
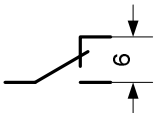
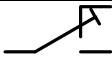
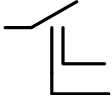
Розміри деяких умовних графічних позначень згідно ГОСТ 2.747 наведені в табл. 3.3. Елементи, розміри котрих не встановлені ГОСТ 2.747, мають бути зображеними в розмірах, в яких вони виконані у відповідних стандартах.

Товщину ліній усіх умовних графічних позначень елементів допускається виконувати рівною товщині електричного зв'язку. Товщини ліній електричного зв'язку на схемах мають бути від 0,2 до 0,6 мм в залежності від форматів схеми і розмірів графічних позначень. Рекомендується товщина лінії електричного зв'язку – 0,3...0,4 мм.

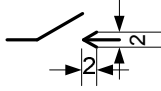
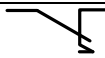
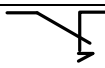
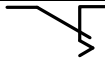
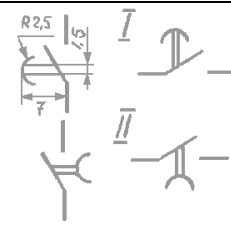
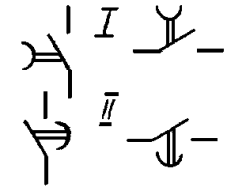
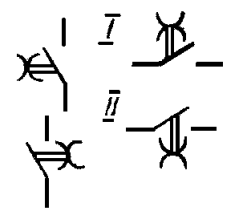
Умовні графічні позначення елементів виконують на схемі або в положенні, в якому вони подані у відповідних стандартах, або повернутими на кут кратний 90° по відношенню до цього положення.

Для пояснення принципу роботи комутаційних пристроїв на контактах цих пристроїв зображають кваліфікуючі символи (табл. 3.2).

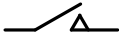
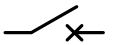
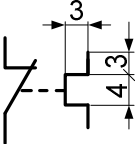
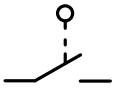
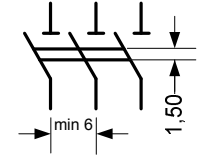
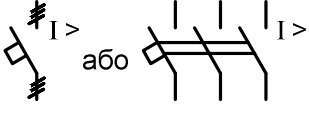
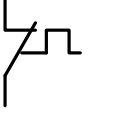
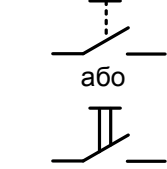
Таблиця 3.3 – Умовні графічні позначення

№ пп	Найменування	Позначення
1	2	3
1	Контакт комутаційного пристрою (вимикача, перемикача, контактора, електричного реле і т. і.):	
	а) замикаючий	
	б) розмикаючий	
	в) перемикаючий	
	г) перемикаючий без розмикання ланцюга	
	д) з подвійним замиканням	
	е) з подвійним розмиканням	
	д) перемикаючий із нейтральним положенням з самоповоротом з лівого положення та без самоповороту з правого	
2	Контакт імпульсний замикаючий:	
	а) при спрацьовуванні (при включенні імпульсно замикається, а потім знову розмикається)	

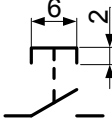
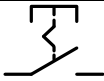
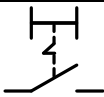
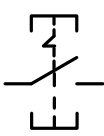
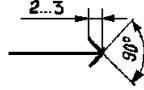
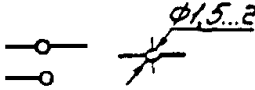
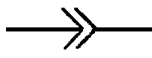
Продовження таблиці 3.3

1	2	3
	б) при поверненні (при відключенні імпульсно замикається, а потім знову розмикається)	
	в) при спрацьовуванні і поверненні	
3	Контакт імпульсний розмикаючий:	
	а) при спрацьовуванні	
	б) при поверненні	
	в) при спрацьовуванні і поверненні	
4	Контакт замикаючий зі сповільнювачем, що діє:	
	а) при спрацьовуванні (витримка часу на замикання)	
	б) при поверненні (витримка часу на розмикання)	
	в) при спрацьовуванні і поверненні	
	Зауваження: затримка відбувається при русі в напрямку від дуги до її центру	

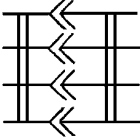
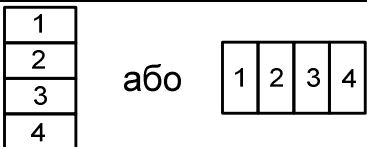
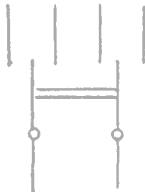
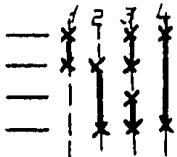
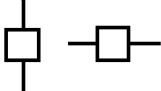
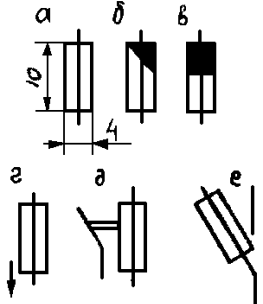
Продовження таблиці 3.3

1	2	3
5	Контакт без самоповороту	
6	Контакт із самоповоротом	
7	Контакт для комутації ланцюга із потужним струмом, що замикає (контакт контактора)	
8	Контакт вимикача	
9	Контакт з автоматичним спрацюванням	
10	Контакт термореле при рознесеному способі зображення	
11	Вимикач шляховий замикаючий однополюсний	
12	Роз'єднувач триполюсний	
13	Вимикач триполюсний з автоматичним спрацюванням максимального струму	
14	Вимикач термічний саморегулювальний	
15	Вимикач ручний	

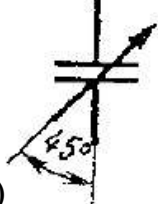
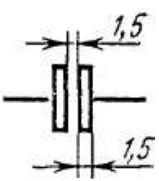
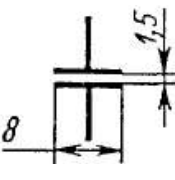
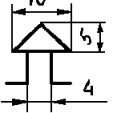
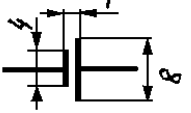
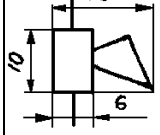
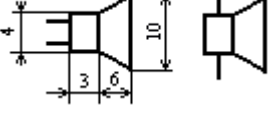
Продовження таблиці 3.3

1	2	3
16	Контакт замикаючий натискного кнопочового вимикача із розмиканням і поворотом елемента керування:	
	а) автоматично	
	б) повторним натисненням кнопки	
	в) витягуванням кнопки	
	д) з використанням окремого приводу (наприклад, натиснення кнопки-скидання)	
17	Контакт контактного з'єднання:	
	а) рознімного з'єднання	
	штир	
	гніздо	
	б) розбірного з'єднання	
	в) нерозбірного з'єднання	
18	З'єднання контактне рознімне	

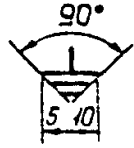
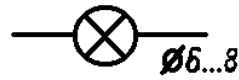
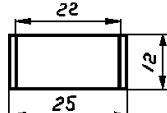
Продовження таблиці 3.3

1	2	3
19	З'єднання контактне рознімне чотирипровідне	
20	Перемичка контактна	
21	Перемичка комутаційна на розмикання	
22	Колодка затискачів	
23	Перемикач двополюсний, трипозиційний із нейтральним положенням	
24	Перемикач із складною комутацією	
25	Вимикач напругою вище I кВ	
27	Запобіжник: а) загальне позначення; б) інерційно-плавкий; в) тугоплавкий; г) швидкодіючий; д) із сигналізувальним пристроєм; е) вимикач-запобіжник	

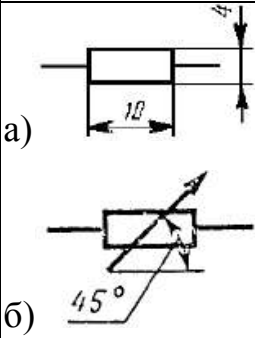
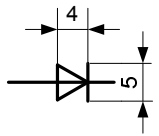
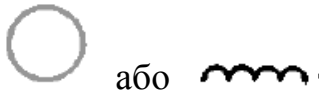
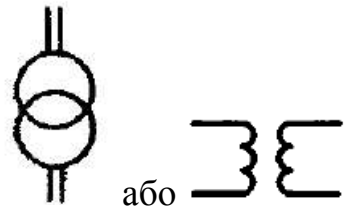
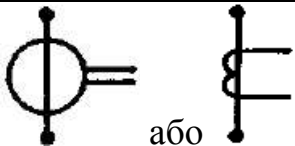
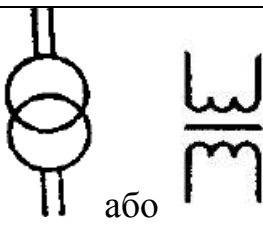
Продовження таблиці 3.3

1	2	3
28	Конденсатор: а) змінної ємності; б) електролітичний; в) постійної ємності	 а)  б)  в)
29	Дзвінок електричний а) загальне позначення; б) постійного струму; в) змінного струму	 а)  б)  в)
30	Сирена електрична	
31	Елемент гальванічний або акумуляторний	
32	Гудок	
33	Гучномовець (репродуктор)	
34	Корпус	

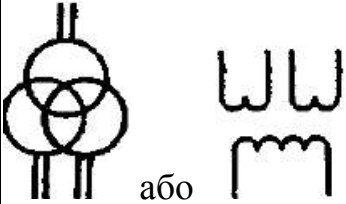
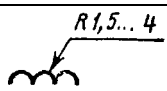
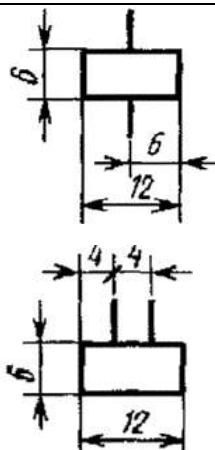
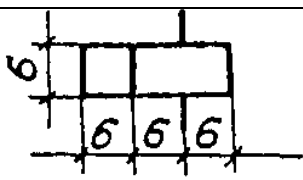
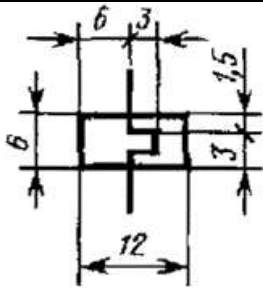
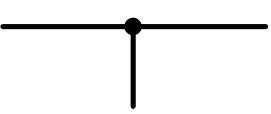
Продовження таблиці 3.3

1	2	3
35	Заземлення	
36	Машина електрична. Загальне позначення	
	Примітка. Всередині кола допускається вказувати такі дані: а) рід машин (генератор - G, двигун - M, генератор синхронний - GS, двигун синхронний - MS, сельсин - ZZ, перетворювач - C); б) рід струму, кількість фаз або вид з'єднання обмоток у відповідності до вимог ГОСТ 2.721-74	
37	Статор електричної машини	
38	Ротор електричної машини	
39	Лампа розжарювання (освітлювальна і сигнальна)	
40	Електричний нагрівач	

Продовження таблиці 3.3

1	2	3
41	Резистор а) постійний б) змінний	
42	Діод	
43	Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дроселя і магнітного підсилювача	
44	Магнітопровід феромагнітний	
45	Первинна обмотка трансформатору струму	
46	Трансформатор без магнітопроводу із постійним зв'язком	
47	Трансформатор струму із однією вторинною обмоткою	
48	Трансформатор напруги вимірювальний	

Продовження таблиці 3.3

1	2	3
49	Трансформатор напруги вимірювальний із двома вторинними обмотками	
50	Обмотка	
51	Котушка електромеханічного пристрою (електромагніт, котушка контактора магнітного пускача, електричного реле)	
52	Котушка електромеханічного пристрою із додатковим графічним полем	
53	Сприймальна частина електротеплового реле	
54	Лінія електричного зв'язку. Провід, кабель, шина	
55	Лінія електричного зв'язку із відгалуженнями	

1.1.3 Позиційні позначення

Кожен елемент та (або) пристрій, що має самостійну принципову схему та розглядається як елемент, який входить до виробу і зображений на схемі, повинен мати позиційне позначення відповідно ГОСТ 2.702.

В загальному випадку позиційне позначення елемента складається з кваліфікуючого символу, літерного коду елемента, порядкового номера. При необхідності можна додавати літерні або цифрові групові позначення, які відокремлюються крапкою або чергуванням літери і цифри (наприклад КС25, 25КС, КС.А, 25.1, 1.А1.6)

Позиційні позначення елементам (пристроям) слід присвоювати в межах виробу (установки). Порядкові номери елементам (пристроям) слід присвоювати, починаючи з одиниці, в межах групи елементів, яким на схемі присвоєно однакове літерне позиційне позначення, наприклад, R1, R2, R3 і т. д., C1, C2, C3 і т. д. Порядкові номери повинні бути присвоєні у відповідності із послідовністю розташування елементів або пристроїв на схемі зверху вниз у напрямку зліва направо.

Літерні коди елементів (одно- та дволітерні) наведені в табл. 3.4, кваліфікуючі символи наведені в табл. 3.5.

Позиційні позначення проставляють на схемі поряд з умовними графічними позначеннями елементів та (або) пристроїв з правої сторони або над ними.

При зображенні на схемі елемента або пристрою рознесеним способом позиційне позначення елемента або пристрою проставляють біля кожної складової частини (наприклад котушка

реле K1.1, контакти цього реле K1.2, K1.3 і т.д.), тобто до номера позиційного позначення додається умовний номер зображення частини елемента, відокремлений крапкою.

Згідно РМ 4-106-91 є можливим і інший варіант позначень: всі складові частини пристрою позначаються однаково (наприклад котушка реле K1, контакти цього реле теж позначають як K1), але при цьому використовують позначення виводів елементів, які дозволяють розрізняти частини пристрою.

Більшість проектних установ користуються комбінацією двох вищевикладених способів: складові частини пристрою позначаються із використанням додаткового умовного номеру і позначаються виводи елементів, при цьому котушка реле має позначення K1, а контакти цього реле – K1.1 (перша контактна група), K1.2 (друга контактна група) і т.д.

При рознесеному способі зображення елементів, які входять до пристрою або функціональної групи, до складу позиційних позначень цих елементів повинно входити відповідно позиційне позначення даного пристрою або функціональної групи, наприклад, = A1-C2 – конденсатор C2, що входить до пристрою A1, або ≠1-K1 – реле K1, що входить до функціональної групи ≠1.

Таблиця 3.5 - Позначення кваліфікуючого символу

Тип умовного позначення	Кваліфікуючий символ
Вищий рівень	=
Функціональна група	≠ або #
Конструктивне розташування	+
Позиційне	-
Електричний контакт	:
Адресне	()

1.1.4 Способи зображення

Елементи і пристрої можуть виконуватися сполученим і рознесеним способом. При сполученому способі складові частини елементів (катушки, контакти) зображуються в безпосередній близькості одна до одної. При рознесеному способі складові частини пристроїв зображують у різних місцях для збільшення наочності схем.

Рекомендується користуватися рознесеним рядковим способом. При цьому умовні графічні позначення елементів, які входять у один ланцюг, зображають послідовно один за одним по прямій, а окремі ланцюги – поряд, утворюючи паралельні (вертикальні або горизонтальні) рядки.

1.1.5 Маркування ланцюгів

Для полегшення читання схем електричних принципів доцільно маркувати електричні ланцюги, послідовно їх нумеруючи.

Маркування ділянок ланцюгів на схемах при горизонтальному зображенні ланцюгів вказується над ділянкою провідника, при вертикальному – зліва від ділянки провідника. При горизонтальному розташуванні ланцюгів у технічно обґрунтованих випадках маркування може вказуватися під ділянкою провідника.

Маркування ланцюгів схем наносять незалежно від нумерації або умовних позначень затискачів апаратів, приладів і інших електричних засобів, тобто застосовується потенціальне маркування

(рис. 3.1). Ділянки ланцюгів, що розділені контактами апаратів, обмотками реле, електричних машин і трансформаторів, резисторами, конденсаторами, вважаються різними ділянками та мають різне маркування. Ділянки, що сходяться в одному вузлі принципової електричної схеми, а також ті, що проходять через роз'ємні контактні з'єднання, маркують однаково.

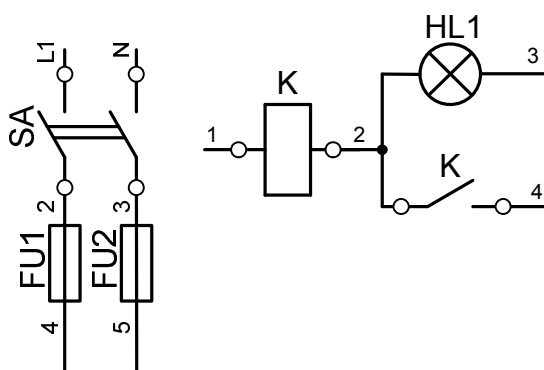


Рис. 3.1 – Приклад маркування ланцюгів

Для маркування прийнята система, яка складається з ряду послідовних чисел, а при необхідності вона може бути доповнена літерною або цифровою приставкою, яка проставляється перед порядковим номером ланцюга. Для цифрового маркування використовуються арабські цифри, для літерних приставок – літери російського (українського) алфавіту. Маркування ланцюгів електричної схеми виконується в залежності від функціональних ознак цієї схеми.

Рекомендується застосовувати такі групи чисел (можуть бути і інші варіанти):

- а) вимірювання, регулювання, управління 1 ÷ 399;
- б) ланцюги сигналізації 400 ÷ 799;
- в) ланцюги живлення – 800 ÷ 999.

В тих випадках, коли схема виконана із суміщенням декількох функціональних ознак (наприклад, якщо в схему управління включені ланки сигналізації і технологічні вимірювання) маркування проводиться на розсуд виконавця. В схемах постійного струму ланцюги позитивної полярності маркуються непарними числами, від'ємної полярності – парними числами. Ті ланцюгів, які в процесі роботи мають різну полярність можуть маркуватися як парними так і непарними числами.

В схемах змінного струму ланцюги маркуються послідовними числами без поділення їх на парні і непарні по функціональній ознаці. Ділянки трифазних ланцюгів маркуються літерами, які позначають фазу і послідовними числами. Фази змінного струму проводів маркуються так (ГОСТ 2.709):

- L1, L2, L3 – відповідно 1, 2 та 3 фази для трифазного струму (допускається позначати фази літерами А, В, С, якщо це не викличе помилкового підключення);
- N – нейтральний провід;
- PE – захисний провід із заземленням;
- E - провід заземлення.

Затискачі електричних пристроїв підключених до трьохфазних ланцюгів маркуються як:

- U, V, W – відповідно 1, 2 та 3 фази змінного струму;
- N – нейтральний провід;
- PE – захисний провід із заземленням;
- E - провід заземлення.

Для систем живлення із постійним струмом використовують позначення «L+» та «L-» або просто «+» та «-».

1.1.6 Позначення виводів (контактів) елементів

На схемі слід вказувати позначення виводів (контактів) елементів (пристроїв), які нанесені на виріб або встановлені у їх документації (згідно РМ 4-106-91).

Для елементів, які не мають заводські позначення виводів (контактів), наводять їх умовні позначення на монтажних символах, що виконані на полі схеми.

Виводи (контакти) елементів слід виконувати незарисованими колами, як показано на рис. 3.2. Позначення наноситься над зображенням виводу (при горизонтальному розташуванні) або зліва (при вертикальному розташуванні). Виводи котушки реле позначають латинськими літерами «А» і «В».

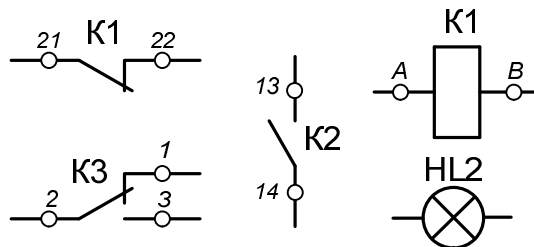


Рис. 3.2 - Позначення виводів (контактів) елементів

На схемі не слід вказувати позначення виводів (контактів) елементів, що мають не більше двох виводів (лампи сигнальні, дзвоники, запобіжники, конденсатори, діоди и т.д.).

Для приладу K1 (рис. 3.2) порядковий номер контакту в приладі – другий (перша цифра позначення «21» та «22»), вид контакту – «1-2» - розмикаючий (другі цифри в позначенні). Для приладу K2 порядковий номер контакту в приладі – перший (перша

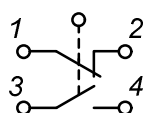
цифра позначення «13» та «14»), вид контакту – «3-4» - замикаючий (другі цифри в позначенні). Для приладу КЗ порядковий номер контакту в приладі не вказано, вид контакту – «1-2-3» - перемикаючий. Контакти лампи НЛ1 не позначені.

На рис. 3.3 показано приклад виконання схеми електричної принципової керування двигуном засувки без примусового ущільнення при закритті, на якій продемонстровано використання маркування елементів, ланцюгів та контактів.

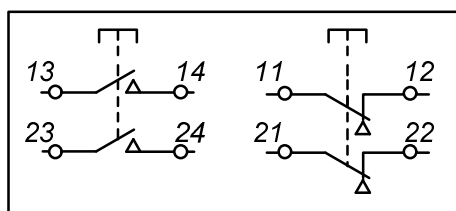
1.1.7 Схеми виводів контактів та обмоток реле

На принципових електричних схемах, в яких використовуються реле, пускачі, кнопки та інші комутувальні прилади, необхідно навести схеми виводів цих приладів. На схемі наноситься напис «Схеми виводів контактів та обмоток реле» під яким суміщеним способом зображують прилади із позначенням усіх їх частин та контактів (рис. 3.7).

ВП-15К21Б.211.8



КУ 123-12У2



РП 25

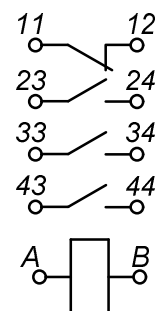


Рис. 3.7 – Схеми виводів контактів та обмоток реле

1.1.8 Пояснювальні технологічні схеми блокувальних залежностей роботи обладнання.

Електричні схеми управління складними процесами можуть бути доповнені на кресленнях технологічною схемою, що пояснює та схемою блокувальних залежностей роботи. Схему, що пояснює, частіше виконують у спрощеному вигляді із вказівкою усіх агрегатів, які входять в склад даного технологічного вузла та беруть участь в даній електричній схемі. В схемі блокувальних залежностей вказують послідовність роботи обладнання.

1.1.9 Перелік елементів

Основні характеристики апаратів схеми записують у перелік, оформлений у вигляді таблиці та заповнений зверху вниз, де вказані номери позицій за замовленою специфікацією, позначення за принциповою електричною схемою, найменування, тип, кількість апаратів, технічна характеристика та примітки.

У перелік елементів вписана вся апаратура та прилади даної схеми, а також електрообладнання, запозичене з інших проектів. При цьому в примітках до переліку вказують, за проектами якої організації замовляється дане обладнання.

Апаратура і прилади у переліку об'єднані у групи в залежності від місця встановлення. Апарати і прилади, контакти яких обведені тонкими лініями, в перелік даної схеми не внесені, оскільки вони враховані в переліках відповідних схем.

Допускається до переліку елементів записувати апаратуру групами відповідно місцям їх встановлення. Цим групам

присвоюють заголовки та вказують їх у графі "Найменування". Наприклад: "Апарати місцеві", "Щит управління" и т.п. Розміри переліку елементів наведено на рис. 3.8, приклад оформлення наведено в табл. 3.6.

Якщо схема виконана на декількох аркушах, то перелік елементів розміщують на першому аркуші над основним штампом. Якщо перелік не вміщується у один стовпчик, продовження переліку розміщують лівіше, повторюючи головку таблиці.

При виконанні схеми на декількох листах, перелік елементів повинен бути спільним та виконують його на аркушах формату А4 наступними аркушами схеми, до якої він складався. В цьому випадку використовується форма 2 та 2а за ГОСТ 2.104. Перелік елементів заповнюють зверху вниз.

Елементи в перелік записують по групах в алфавітному порядку літерних позиційних позначень, розташовуючи по збільшенню порядкових номерів у межах кожної групи.

Між окремими групами елементів допускається залишати декілька незаповнених рядків для внесення змін.

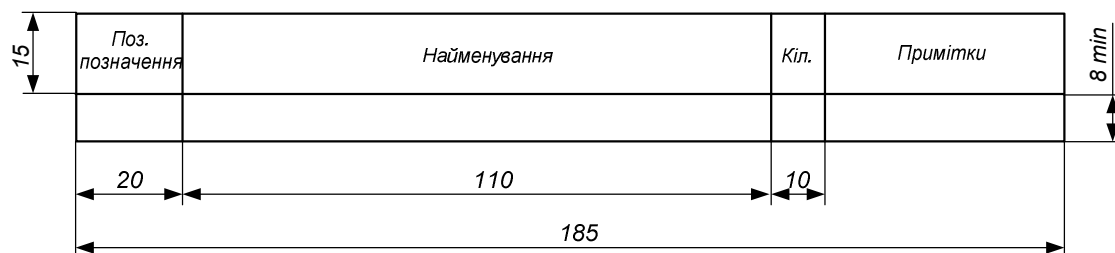


Рис. 3.8 – Форма переліку елементів

При запису елементів, які мають однакове найменування та однакові літерні позиційні позначення в графі "Найменування"

переліку елементів допускається записувати найменування цих елементів у вигляді загального найменування (заголовку) один раз на кожному аркуші переліку. Заголовок не слід підкреслювати і вільний рядок до і після заголовку не лишати. У загальному найменуванні записують найменування, тип і позначення документа, на підставі якого застосовані ці елементи (ТУ або стандарт).

В графі "Примітки" переліку елементів для приладів та засобів автоматизації, зображених на схемі, вказують їх позиції за специфікацією обладнання.

1.1.10 Примітки та пояснення на схемах

Пояснення розшифровують призначення та найменування кожного електричного ланцюга. Пояснення виконують у вигляді таблиць, які розміщують з права або знизу від ланцюга, що розглядається в залежності від горизонтального або вертикального розташування ланцюгів на схемі (див. рис. 3.3). При необхідності можна виконувати короткі текстові пояснення принципу роботи складних схем.

Примітки до схем містять загальні відомості, без яких неможливо встановити взаємозв'язок матеріалів технічної документації. В примітках наводять:

- номери замовних специфікацій на прилади та апаратуру, що задіяні в даній схемі;
- вказівки по застосуванню даної схеми для декількох агрегатів;

- вказівки про зміни схем внутрішніх з'єднань апаратів (при необхідності) та уточнення характеристик апаратів і т. п.;
- інші відомості, необхідні в конкретному випадку.

На рис. 3.9 наведено приклад компонування схеми електричної принципової керування. Специфікація до даної схеми виконується окремими аркушами.

Таблиця 3.6 - Перелік елементів до рис. 3.3

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Щит управління</u>		
	Лампа в арматурі АС-220	1	220 В, 10 Вт
HL1	з зеленою лінзою Ц-220-10		
HL2	Те ж із червоною лінзою Ц-220-10	1	220 В, 10 Вт
SB1, SB3, SB5	Кнопка управління SB-7	3	200 В, 5 А
KV	Реле проміжне РП-21	1	220 В
R1, R2	Резистор ПЭ-15	1	100 Ом, 15 Вт
	<u>Місцеві</u>		
SB2, SB4, SB6	Кнопка управління SB-7	3	220 В, 5 А
М	Двигун АОС31-4Ф2	1	380 В, 0,6 кВт
SQ1 - SQ4	Кінцеві вимикачі ВП-15К21Б.211.8	4	1“з”+1“р”, 660В, 50Гц, 10А, IP54
	<u>Шафа силового електрообладнання</u>		
A2	Блок управління БОУ5430 ТУ 16-536.042-76	1	
КА	Реле струму РТ-40/6	1	380 В, 6 А
QF	Автоматичний вимикач АП 50Б 2МТ	1	500 В, 2.5 А
KM1, KM2	Пускач магнітний реверсивний ПМЕ-114	1	220 В, 10 А, з тепловим реле
FU	Запобіжник ПР2	1	550 В, 6 А
SA	Перемикач універсальний УП 5311-С225	1	500 В, 20 А

1.2.Схеми електричні принципові живлення

1.2.1 Загальні вимоги

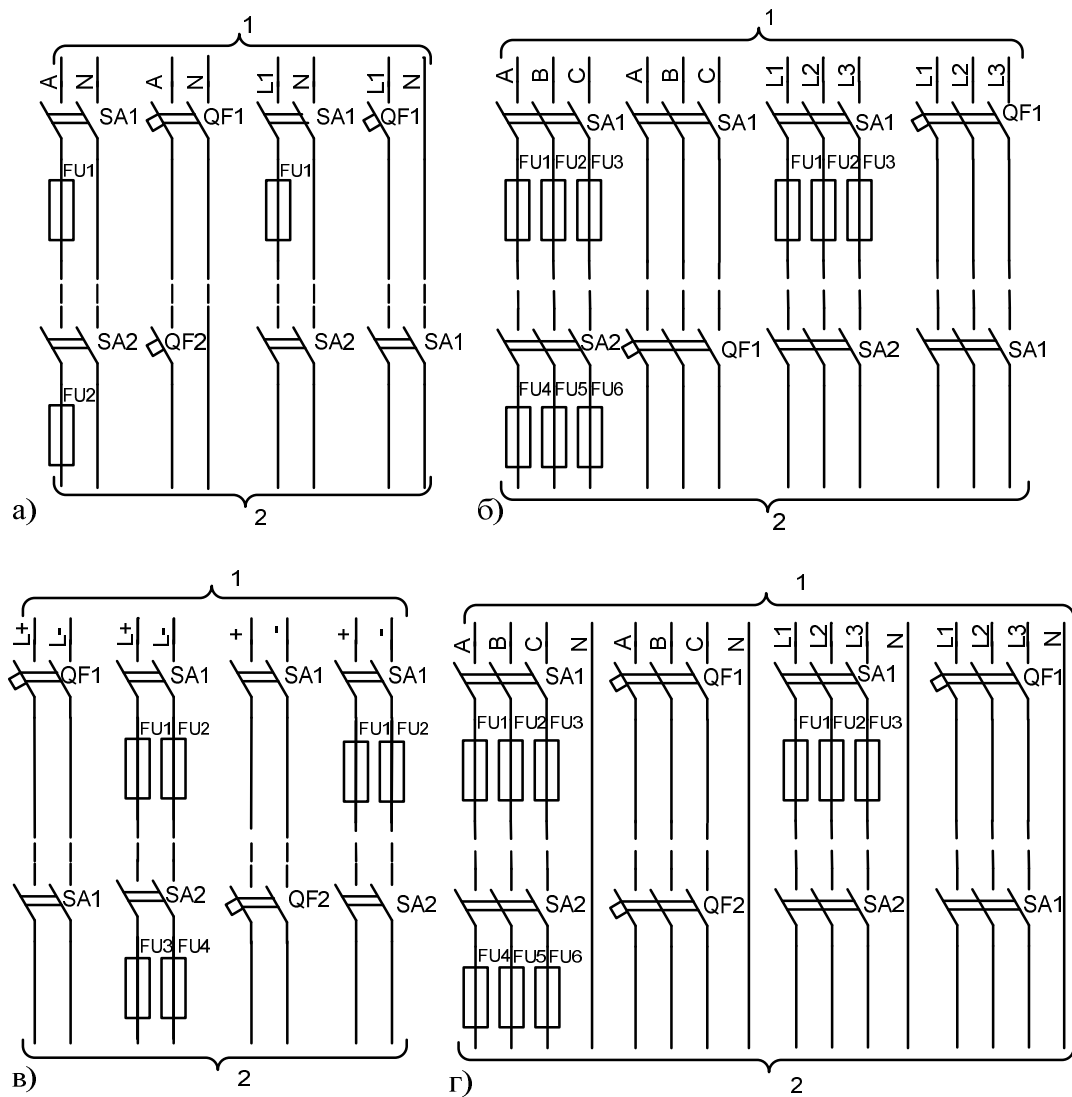
Ці схеми розглядаються на стадії проектування «Робоча документація» і служать для проектування живлення засобів контролю і автоматизації, розрахунку витрат електроенергії.

Проектування систем електроживлення здійснюється на основі ВСН 205-84/ММСС ССРСР "Инструкции по проектированию электроустановок систем автоматизации технологических процессов" та РМ4-4-85 «Системы автоматизации технологических процессов. Проектирование систем электропитания», а також нормативних вимог конкретних виробництв

В загальному випадку на кресленнях таких схем повинна бути показана:

- 1) апаратура вмикання і вимикання джерел живлення і споживачів електроенергії;
- 2) апаратура контролю напруги;
- 3) назва споживачів електроенергії;
- 4) загальні пояснення і примітки;
- 5) креслення, які відносяться до даної схеми;
- 6) перелік апаратури.

Схеми живлення можна суміщати з іншими схемами автоматизації проекту (наприклад сигналізації). На рис. 3.10 – 3.11 показано варіанти схеми живлення.



1 – до джерела живлення, 2 – до щита

Рис. 3.10 - Схема електрична принципова живлення:

а) однофазною двопровідною мережею; б) трифазною трипровідною мережею; в) двофазною двопровідною і двопровідною мережею постійного струму; г) трифазною чотирипровідною мережею

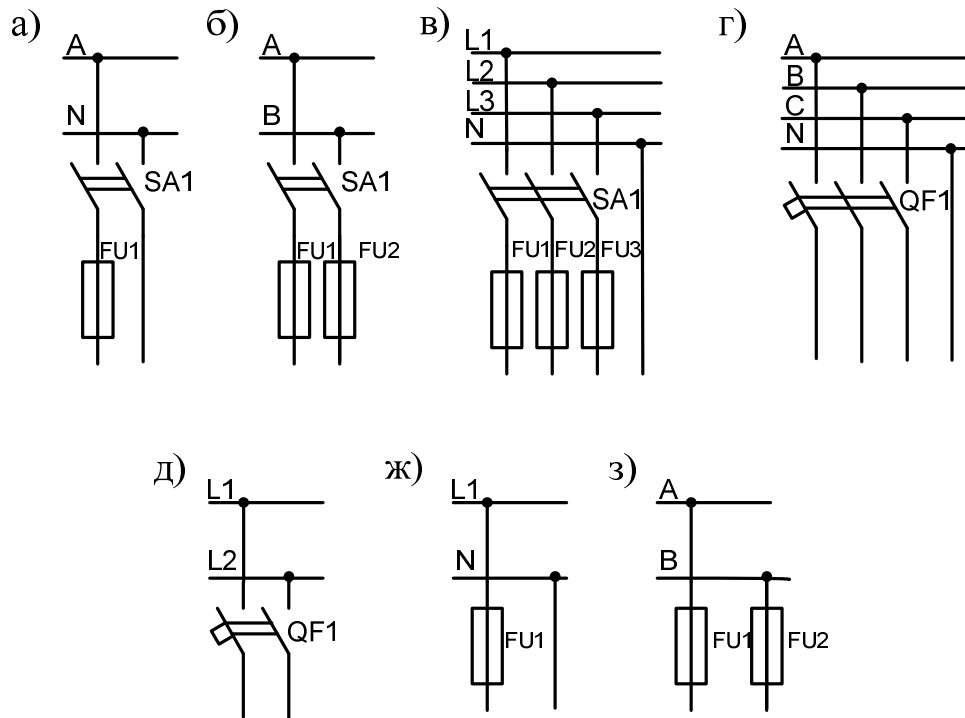


Рис. 3.11 – Схема живлення електроприймачів, які не мають вмонтованих вимикачів і запобіжників (а, б, в, г, д); які мають вмонтовані вимикачі (ж, з).

1.2.2 Категорії схем живлення

Згідно правил експлуатації електроустановок схеми живлення діляться на три категорії:

I категорія. До неї відносяться схеми живлення мереж автоматизації, управління, сигналізації і приладі, пошкодження живлення яких може мати небезпеку для життя людей, значні збитки господарству, пошкодження устаткування, масовий брак продукції, порушення особливо важливих елементів міського господарства.

II категорія включає схеми живлення таких засобів автоматизації, порушення електропостачання яких може призвести

до масового недовипуску продукції, простоїв робочих механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності міських жителів.

До **III категорії** відносяться схеми живлення засобів автоматизації, перерва в електрозабезпеченні яких може порушити додаткові технологічні операції, зупинка цехів несерійного виробництва.

Схеми I-ї категорії повинні мати не менше двох незалежних один від одного джерела. Причому вмикання резервного повинно відбуватись автоматично.

Схеми II-ї категорії також повинні мати два незалежних джерела живлення, але вмикання резервного живлення може відбуватися вручну.

Схеми III-ї категорії як правило, можуть мати одне джерело живлення, але, якщо є можливість вмикання другого джерела живлення, то і тут можна застосовувати резервування.

1.2.3 Апаратура живлення та її характеристика

В живильних і розподільчих мережах електроживлення засобів автоматизації використовують:

1) в живильних – автоматичний вимикач, рубильник – запобіжник;

2) в мережах електродвигунів виконуючих механізмів і електросасувок – автоматичний вимикач – магнітний пускач, рубильник – запобіжник – магнітний пускач;

3) в мережах приладів, регуляторів, трансформаторів, випрямлячів – пакетний вимикач – запобіжник, автоматичний вимикач;

4) в мережах сигналізації – пакетний вимикач – запобіжник, автоматичний вимикач.

Пакетні вимикачі виготовляються для кріплення до задньої панелі, для кріплення до передньої панелі. Вони бувають одно-, дво- і триполюсні, двополюсні на два напрямки з двома нульовими положеннями. Крім того пакетні вимикачі характеризуються номінальним струмом для змінної напруги до 380 вольт і постійної напруги до 220 вольт. Номінальний струм на 6,3; 10; 16; 25 ампер. Для проектних рішень тип електроустаткування необхідно вибирати по каталогах підприємства-виробника.

Запобіжники характеризуються номінальною напругою і номінальним струмом, а також струмом плавкої вставки. Плавкі вставки застосовуються номіналом 0,5; 1; 2; 4; 6; 10.

Автоматичні вимикачі – це найбільш зручні електричні апарати, але вони є складніші і дорожчі. Розрізняють автоматичні вимикачі з електромагнітним роз'єднувачем (для захисту від короткого замикання), з тепловим роз'єднувачем (для захисту від перевантажень), комбіновані – з електромагнітним і тепловим роз'єднувачами.

Автоматичні вимикачі є двополюсні, триполюсні на 25 ампер і на 50 ампер з різними вставками від 1,6 до 50 ампер.

1.2.4 Вимоги до джерел живлення.

Для живлення засобів автоматизації використовують розподільчі підстанції, розподільчі щити, до яких не підключене різнопере мінне навантаження. В деяких випадках систему живлення засобів автоматизації приєднують до освітлювальної мережі. Коливання напруги живлення на затискачах повинно бути не більше:

- а) для приладів $\pm 5\%$;
- б) для виконуючих механізмів $-5\% - + 10\%$;
- в) для схем сигналізації $-2,5\% - +5\%$.

Живлення мережі виконується однофазним двопровідними (фаза, нейтраль), двофазними (дві фази), двопровідними проводами постійного струму. Якщо на об'єкті, що автоматизується, є декілька паралельних технологічних потоків, то в таких випадках живлення відбувається по окремим живильним лініям від розподільчих щитів (джерел живлення) системи електропостачання відповідних технологічних потоків.

Для живлення електрифікованого інструменту і ремонтного освітлення застосовують знижувальні трансформатори (блоки живлення) (220/36; 220/12; 220/6). При використанні трансформаторів необхідно виконувати такі вимоги:

- 1) допускається живлення тільки одного електроприймача із захистом плавкою вставкою або автоматичним вимикачем на первинній стороні з плавкою вставкою не більше 15 А;
- 2) вторинна напруга трансформатора повинна мати не більше 380 В;

3) заземлювати вторинні обмотки забороняється, заземляють корпус.

1.2.5 Оформлення електричних принципових схем живлення

Схеми розподільної мережі виконують у багатолінійному зображенні для кожного щита живлення окремо. На ній розміщують апарат управління (рубильники, вимикачі, перемикачі), апарати захисту (автомати, запобіжники), перетворювачі (трансформатори, стабілізатори і т.п.), лампи освітлення, штепсельні розетки, схеми автоматичного введення резерву та лінії електричного зв'язку між апаратами.

В нижній частині схеми розподільної мережі як правило розміщують таблицю, у якій вказують всіх електроприймачів, які отримують живлення з даного щита, із вказівкою їх позицій у замовлених специфікаціях, потужності, що споживається, напруги та місця встановлення (рис. 3.13).

На рис. 3.14 показано приклад компонування схеми електричної принципової розподільної мережі.

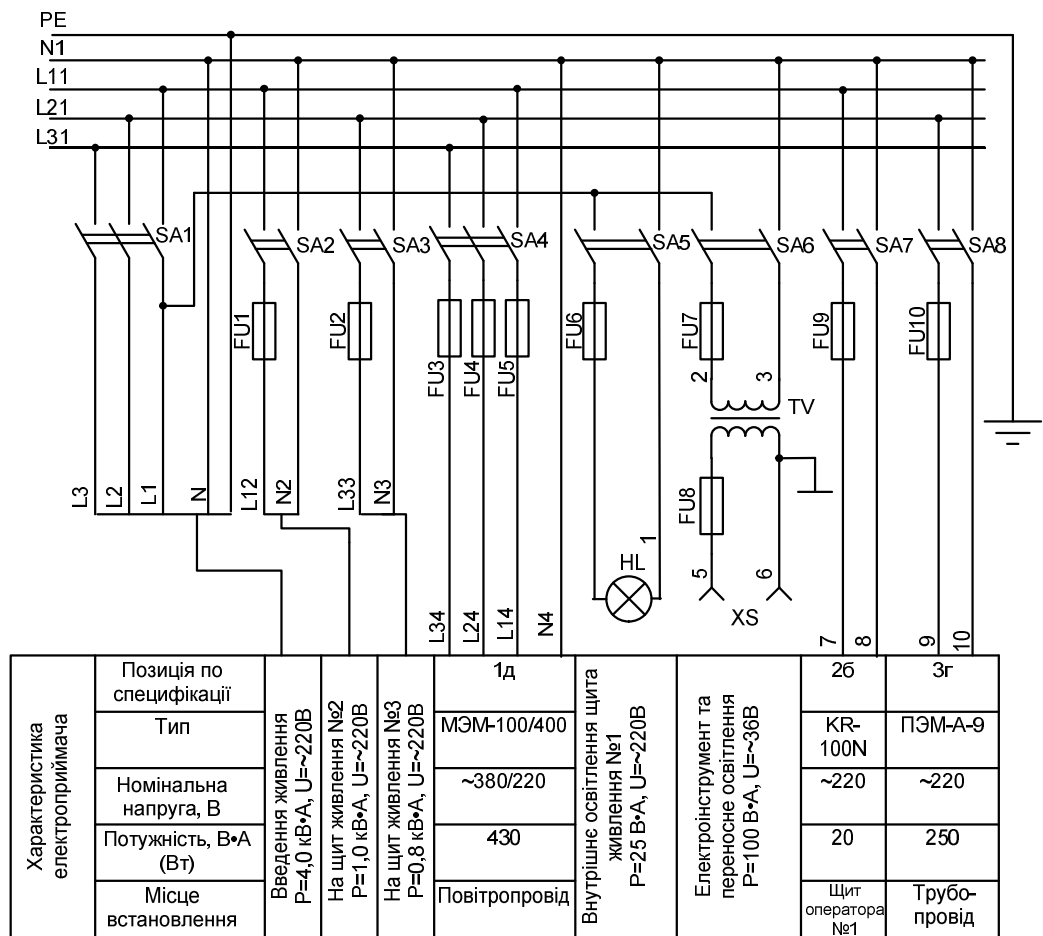


Рис. 3.13 – Схема електрична принципова розподільної мережі

2. НОМЕНКЛАТУРА І ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ, ЯКІ ПОСТАЧАЮТЬСЯ КОМПЛЕКТНО ЗІ ЩИТАМИ І ПУЛЬТАМИ

У додатку вміщено лише основні характеристики апаратів управління та захисту, що дозволяють намітити їх вибір. При проведенні перевірочних розрахунків слід використовувати всі необхідні дані стандартів і технічних умов на апаратуру, зазначених у цьому додатку.

ПЕРЕМИКАЧІ І ВИМИКАЧІ СЕРІЇ ПП, ПВ (дані по ОСТ 16.0.526.001-77 для перемикачів і вимикачів до 5-ої величини).

Таблиця 1

Величина перемикача, вимикача	Номінальний струм, А	Номінальна напруга, В		Частота змінного струму, Гц
		за ізоляцією	що комутується	
1	10	660	220-постійна	50, 60, 400
2	16		380-змінна	
3	25			
4	40			
5	63			

Примітка. Комутаційна здатність перемикачів і вимикачів серії ПП, ПВ визначається по табл. 9 і 9а ОСТ 16.0.526.001-77

ПЕРЕМИКАЧІ ТВ1, ТВ2, ТП1 ТИПУ "ТУМБЛЕР" (дані за технічними умовами УСО.360.049ТУ)

Таблиця 2

Тип	Допустиме навантаження на контактну пару, Вт	Напруга, В	Струм, А
ТВ1	250	220	1,1
		50	5
		1,6	0,001
ТВ2	60	220	0,25
		120	0,5
		1,6	0,001
	120	220	0,5
		120	1
		1,6	0,001
ТП1	220	220	1
		110	2
		1,6	0,001

ПЕРЕМИКАЧІ ДВОПОЛЮСНІ СЕРІЇ П2Т (дані за технічними умовами ВТО.360.002ТУ)

Таблиця 3

Тип	Прохідна потужність на контактну пару, Вт	Напруга, В	Струм, А	Вид струму
П2Т	660	300	0,2	Постійний
		27	6	
		220	3	Змінний
		127	5	

ПУСКАЧІ МАГНІТНІ СЕРІЇ ПМЕ (дані за ОСТ 16.0.536.001-72 и ТУ 16-526.491-81)

Таблиця 4

Основні параметри пускачів магнітних серії ПМЕ

Величин а пускача	Ступінь захисту оболонки	Номін альний струм, А	Номінальн а напруга, В	Номінальний струм замикаючих та розмикаючих допоміжних контактів, А	Номінальна напруга допоміжних контактів, В
ПМЕ-000	IP60	4	500 В змінного струму	4	от 24 до 500 В змінного струму
	IP30				
	IP54				
ПМЕ-100	IP00	10		6	
	IP30				
	IP54				
ПМЕ-200	IP00	25	660 В змінного струму	6,3	от 24 до 660 В змінного струму
	IP30	23			
	IP54				

Примітка. Комутаційна здатність головних контактів магнітних пускачів ПМЕ-000 і ПМЕ-100 визначається по ОСТ 16.0.536.001-72, а пускачів ПМЕ-200 по ГОСТ 11206-77.

Таблиця 5

Комутаційна здатність допоміжних контактів пускачів магнітних серій ПМЕ (змінний струм)

Величина пускачів	Режим нормальних комутацій		Режим рідкісних комутацій		Напруга мережі, В	Коефіцієнт потужності, не менш
	Включений струм, А	Відключений струм, А	Включений струм, А	Відключений струм, А		
ПМЕ-000	15	2	30	4	380	0,4
ПМЕ-100	30	3	60	6		0,4

Примітка. Комутаційна здатність допоміжних контактів пускачів ПМЕ-200 визначається вимогами ГОСТ 11206-77.

Таблиця 6

Основні параметри теплових реле ТРН, вбудованих в пускачі серії ПМЕ

Величина пускача	Тип теплового реле	Номинальний струм теплового елемента реле, А	Максимальні струми тривалого режиму реле в пускачах, А	
			виконання ІР00	виконання ІР30, ІР54
І	2	3	4	5
ПМЕ-000	ТРН-10А	0,32	0,40	0,40
		0,40	0,50	0,50
		0,50	0,62	0,62
		0,63	0,80	0,80
		0,80	1,00	1,00
		1,00	1,20	1,20
		1,25	1,50	1,50
		1,60	2,00	2,00
		2,00	2,50	2,50
		2,50	3,00	3,00
		3,20	3,00	3,00
ПМЕ-100	ТРН-10	0,50	0,62	0,55
		0,63	0,80	0,70
		0,80	1,00	0,90
		1,00	1,20	1,10
		1,25	1,50	1,40
		1,60	2,00	1,70
		2,00	2,50	2,20
		2,50	3,10	2,70
		3,20	4,00	3,50
		4,00	5,0	4,4
		5,00	6,2	5,5
		6,30	7,8	7,0
		8,00	10,0	8,8
		10,00	10,00	10,00
ПМЕ-200	ТРН-25	5,0	6,2	5,5
		6,3	7,8	7,0
		8,0	10,0	8,8
		10,0	12,5	11,0
		12,5	15,6	14,0
		16,0	20,0	17,6
		20,0	25,0	20,0
		25,0	25,0	23,0

ВИМИКАЧІ АВТОМАТИЧНІ СЕРІЇ А63 (дані за ТУ 16-522. 110-74)

Таблиця 7

Тип	Номинальна напруга, В	Номинальний струм вимикача, А	Номинальний струм розчеплювачів, А	Кратність струму відсічки, $I/I_{ном}$
А63-МГ	~380 =110	25	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	10
А63-М				1,3; 2,5; 10

ВИМИКАЧІ АВТОМАТИЧНІ СЕРІЇ АП50 (дані за ТУ 16-522.066-75)

Таблиця 8

Тип	Номиналь на напруга вимикача , В	Номиналь ний струм вимикача , А,	Номиналь ний струм розчеплюв ачів, А	Кратність струму відсічки , $I/I_{ном}$	Номинальна напруга змінного струму котушки розчеплювач а напруги, В
1	2	3	4	5	6
АП50-2МТ АП50-2Т АП50-2М АП50-3МТ АП50-3Т АП50-3М	=220 ~до 500	0,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 25; 40; 50	0,6; 2,5; 4; 6,4; 10,5; 16; 25,5; 40; 50	3,5; 11	—
АП50-2М3ТН АП50-2МН АП50-3ТН АП50-2М3ТД АП50-3ТД				—	
				3,5; 11	
				3,5; 11	
				—	
				3,5; 11	
				3,5; 11	
				—	
				3,5; 11	
				—	
АП50-2М3ТО АП50-2МО АП50-3ТО			16; 25 40; 50	3,5; 11 3,5; 11 —	110, 127, 220 380, 415 частотою 50 або 60 Гц
АП50-2 АП50-3			50	— —	—

ТРИМАЧІ ПЛАВКИХ ВСТАВОК ТИПУ ДВП4 (дані за технічними умовами АГО.481.301ТУ)

Таблиця 9

Тип тримача	Характеристика вставки плавкої що встановлюється		
	Тип	Напруга, В	Номінальний струм, А
ДВП4-2В	ВП2Б-1	250	0,25-6,3
ДВП4-3В	ВП3Б-1		0,25-10

ЗАПОБІЖНИКИ ПРИЛАДОВІ ПЛАВКІ ТИПУ ВП2Б, ВП3Б (дані за технічними умовами АГО.481.304ТУ)

Таблиця 10

Тип	Струм плавкої вставки, А
ВП2Б-1	0,25; 0,5; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3
ВП3Б-1	1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10

ЗАПОБІЖНИКИ ТИПУ ПР-2 (дані за ТУ 16-522.091-72)

Таблиця 11

Тип	Номінальний струм основи запобіжника, А	Номінальний струм плавких вставок, А	Напруга мережі, В
ПР-2	15 60	6, 10, 15 15, 20, 25, 35, 45, 60	до 500 В змінного та 440 В - постійного струму

3. РОЗРАХУНКИ З ВИБОРУ ОКРЕМИХ ВИДІВ АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ

ВИМИКАЧІ, ПЕРЕМИКАЧІ

Вибір цієї апаратури проводиться:

а) за номінальною напругою мережі

$$U_n \geq U_{н.сети}, \quad (1)$$

де U_n - номінальна напруга вимикача, перемикача

$U_{н.сети}$ - номінальна напруга мережі;

б) за тривалим розрахунковим струмом кола

$$I_{откл.} \geq I_{длит.}, \quad (2)$$

$I_{откл.}$ - найбільший струм, що відключається вимикачем, перемикачем;

$I_{длит.}$ - тривалий розрахунковий струм кола

Крім того вимикачі і перемикачі повинні включати пускові струми електроприймачів і без пошкоджень відключити їх.

МАГНІТНІ ПУСКАЧІ

Вибір пускачів проводиться:

а) за номінальною напругою мережі

$$U_{н.пуск} = U_{н.сети}, \quad (3)$$

де $U_{н.пуск}$ - номінальна напруга котушки пускача;

б) за потужністю електродвигуна виконавчого механізму або засувки. У табл. 1 наведені деякі типи пускачів ПМЕ і найбільші потужності керованих ними електродвигунів при різній напрузі мережі.

Таблиця 1

Тип пускача	Найбільша потужність, кВт, керованого електродвигуна при напрузі, В	
	220	380
ПМЕ-000	0,6	1,1
ПМЕ-100	2,2	4
ПМЕ-200	5,5	10

Також як і інші апарати управління магнітні пускачі повинні включати пусковий струм електродвигунів і без пошкодження відключати його.

ЗАПОБІЖНИКИ

У схемах електроживлення систем автоматизації, як правило, застосовуються запобіжники з малою тепловою інерцією, які вибираються за наступними умовами.

1. За номінальною напругою мережі

$$U_{н.пред.} \geq U_{н.сети}, \quad (4)$$

де $U_{н.пред.}$ - номінальна напруга запобіжника;

$U_{н.сети}$ - номінальна напруга мережі

2. За тривалим розрахунковим струмом лінії

$$I_{н.вст} \geq I_{длит.}, \quad (5)$$

де $I_{н.вст}$ – номінальний струм плавкої вставки;

$I_{длит.}$ - тривалий розрахунковий струм лінії.

Крім того, при використанні безінерційних запобіжників не повинно відбуватися перегорання плавкої вставки від короточасних поштовхів струму, наприклад, від пускових струмів електродвигунів виконавчих механізмів і електроприводів засувки. Тому при виборі запобіжників для захисту таких електроприймачів необхідно також виконання і іншої умови:

$$I_{п.двиг} \geq \frac{I_{п.двиг}}{2,5}, \quad (6)$$

де $I_{п.двиг}$ - пусковий струм двигуна.

Для магістральної лінії, за якою живиться група електродвигунів виконавчих механізмів або засувки (причому частина з них або всі вони можуть пускатися одночасно) запобіжники вибираються за таким співвідношенням:

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_{кр}}{2,5}, \quad (7)$$

де $I_{кр}$ - максимальний короточасний струм лінії, що дорівнює

$$I_{кр} = I'_{п.двиг} + I'_{длит.}.$$

Тут $I'_{п.двиг}$ - пусковий струм електродвигуна або групи двигунів, що одночасно включаються, при пуску яких короточасний струм лінії досягає найбільшої величини;

$I'_{длит.}$ - тривалий розрахунковий струм лінії до моменту пуску електродвигуна (або групи двигунів), який визначається без урахування робочого струму електродвигуна (або групи двигунів), які запускають.

У колах управління і сигналізації плавкі вставки вибираються за співвідношенням

$$I_{н.вст} \geq \sum I_p + 0,1 \sum I'_в \quad (8)$$

де $\sum I_p$ - найбільший сумарний струм, що споживається котушками апаратів, сигнальними лампами, і т. д. при одночасній роботі;

$\sum I'_e$ - найбільший сумарний струм, споживається при включенні котушок апаратів, що одночасно включаються.

Під тривалим розрахунковим струмом в (7) в загальному випадку розуміється дійсний струм що тривало протікає лінією, визначений з урахуванням коефіцієнта одночасності роботи електроприймачів і коефіцієнта їх завантаження.

Якщо відомі номінальні потужності електроприймачів, то їх номінальні струми можуть бути визначені за наступними співвідношеннями:

для трифазних електроприймачів змінного струму

$$I = \frac{1000P}{1,73U_n \cos \varphi \eta}, \text{ A}; \quad (9)$$

для однофазних електроприймачів, приєднаних до однієї фази мережі трифазного струму

$$I = \frac{1000P}{U_{н.ф} \cos \varphi \eta}, \text{ A}; \quad (10)$$

для електроприймачів постійного струму

$$I = \frac{1000P}{U_{н.\eta}}, \text{ A}; \quad (11)$$

де P - номінальна потужність електроприймача (або групи електроприймачів), кВт

U_n - номінальна напруга (для електроприймачів змінного струму - лінійна напруга мережі), В

$U_{н.ф}$ - номінальна фазна напруга, В

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності

η - к. к. д. електродвигуна

3. За умовою селективності. Все послідовно встановлені в лінії плавкі запобіжники повинні, за можливістю, працювати селективно (вибірково), тобто запобіжники повинні спрацювати (перегоряти) тільки тоді, коли пошкодження станеться саме на тій ділянці лінії, яку вони захищають. Ця умова виконується, якщо номінальні струми плавких вставок, що захищають сусідні ділянки, розрізняються між собою не менше, ніж на один ступінь.

ПЕРЕВІРКА УМОВ СПРАЦЮВАННЯ ПЛАВКИХ ЗАПОБІЖНИКІВ

Для надійного і швидкого перегорання плавких вставок потрібно, щоб при короткому замиканні в кінці ділянки, що захищається забезпечувалася необхідна кратність струму короткого замикання,

тобто відношення струму короткого замикання $I_{к.з.}$ до номінального струму плавкої вставки $I_{н.вст.}$.

Кратність $I_{к.з.}$ до $I_{н.вст.}$ має бути не менше, ніж три (у вибухонебезпечних установках - чотири).

Для перевірки цієї умови спрацьовування запобіжників необхідно знати величини струмів короткого замикання у найбільш віддаленій точці кола, що захищається.

У проектах автоматизації технологічних процесів розрахунки струмів короткого замикання не виконуються і для перевірки умов спрацьовування апаратів захисту слід: або використовувати дані розрахунку струмів короткого замикання, який виконується при проектуванні електропостачання об'єкта, що автоматизується, або доручати таку перевірку підрозділу, що проектує електротехнічну частину об'єкта, видаючи йому відповідне завдання (останнє є найкращим рішенням).

При необхідності може бути проведено наближений розрахунок струмів короткого замикання, що дає орієнтовне уявлення про їх величину. Розрахунок виконується, в мережах з глухозаземленою нейтраллю - для випадку однофазного короткого замикання; в мережах з ізольованою нейтраллю - для випадку двофазного короткого замикання. Передбачається, що коротке замикання сталося в кінці ділянки, що захищається, на затискачах електроприймача.

При такому розрахунку можуть бути використані наступні формули: для визначення струму однофазного короткого замикання

$$I_{к.з.(1)} = \frac{U_{н.с}}{\sqrt{3}Z_{\phi-0}}; \quad (12)$$

для визначення струму двофазного короткого замикання

$$I_{к.з.(2)} = \frac{U_{н.с}}{2Z_{\phi}}; \quad (13)$$

де $U_{н.с}$ - номінальна лінійна напруга мережі, В;

$Z_{\phi-0}$, Z_{ϕ} - повний опір мережі струму короткого замикання відповідно для петлі фаза-нуль и для фази, Ом

Значення Z визначаються за формулами

$$Z_{\phi} = \sqrt{(\sum R_{\phi} + R_m)^2 + (\sum X_{\phi} + X_m)^2} \quad (14)$$

$$Z_{\phi-0} = \sqrt{(\sum R_{\phi} + \sum R_0)^2 + (\sum X_{\phi} + \sum X_0)^2} + Z_{m(1)} \quad (15)$$

де:

$$R_{\phi} = \frac{\rho l}{S_{\phi}} \text{ та} \quad (16)$$

$$X_{\phi} = a l \quad (17)$$

- активний і індуктивний опір провідника фази ділянки мережі, Ом;

$$R_0 = \frac{\rho l}{S_0} \text{ та} \quad (18)$$

$$X_0 = a l \quad (19)$$

- активний і індуктивний опір ділянки кола нульового проводу, Ом;

l - довжина ділянки, км;

S_ϕ, S_0 - переріз провідника фази і відповідно нульового проводу, мм²;

a - коефіцієнт, що дорівнює: 0,07 - для кабелів; 0,09 - для проводів, прокладених в трубі;

ρ - коефіцієнт, що дорівнює: 19 - для мідних проводів и кабелів; 32 - для алюмінієвих проводів и кабелів;

$$R_m = \frac{\rho \kappa^2}{S_m} \text{ та} \quad (18)$$

$$X_m = d R_m \quad (19)$$

- активний і індуктивний опір фази трансформатора живлення, Ом;

S_m - потужність трансформатора, кВа;

κ - коефіцієнт, що дорівнює: 4 - для трансформаторів до 60 кВа; 3,5 - до 180 кВа; 2,5 - до 1000 кВа; 2,2 - до 18000 кВа;

d - коефіцієнт, що дорівнює: 2 - для трансформаторів до 180 кВа; 3 - до 1000 кВа; 4 - до 1800 кВа;

$$Z_{m(1)} = \frac{22}{S_m} K^2 \quad (22)$$

- розрахунковий повний опір трансформатора струму короткого замикання на землю, Ом;

$$K = \frac{U_{н.с}}{380} \text{ - коефіцієнт} \quad (23)$$

Для перевірки запобіжників за здібністю відключати розраховується струм трифазного короткого замикання в місці установки запобіжників:

$$I_{к.з.(3)} = \frac{U_{н.с}}{\sqrt{3}Z_\phi} \quad (24)$$

де $U_{н.с}$ и Z_ϕ - те саме, що в формулах (12) и (13).

Наведений наближений розрахунок виходить з того, що зворотним проводом петлі фаза-нуль є мідний або алюмінієвий нульовий захисний провідник з кольорового металу (міді, алюмінію), прокладений спільно з фазними провідниками в одному кабелі або трубі.

Якщо в якості нульових захисних провідників використовуються сталеві смуги, металоконструкції будівель, металеві захисні труби та інші трубопроводи, або однофазне коротке замикання відбувається не на нульовий провід або заземлений корпус електрообладнання, а

на землю, то в цьому випадку розрахунок опору петлі фаза-нуль значно ускладнюється.

При перевірці умов спрацьовування апаратів захисту слід мати на увазі, що в більшості випадків при потужних трансформаторах живлення, порівняно невеликій відстані від них збірок живлення, до яких приєднується система електроживлення, і правильному виборі перетинів фазних і нульових захисних провідників, забезпечується достатня величина струмів короткого замикання, а, отже, і відключення аварійних ділянок.

АВТОМАТИЧНІ ВИМИКАЧІ

Вибір автоматичних вимикачів проводиться за номінальною напругою і струму з дотриманням наступних умов:

$$U_{н.а} \geq U_{н.с} \quad (25)$$

$$I_{н.а} \geq I_{длит.} \quad (26)$$

де $U_{н.а}$ - номінальна напруга автомата;

$U_{н.с}$ - номінальна напруга мережі;

$I_{н.а}$ - номінальний струм автомата;

$I_{длит.}$ - тривалий розрахунковий струм лінії

Крім того, повинні бути правильно вибрані: номінальний струм розчеплювача - $I_{н.расц.}$; струм уставки електромагнітного розчеплювача або електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача - $I_{уст.эл.магн.}$; номінальний струм уставки теплового розчеплювача або теплового елемента комбінованого розчеплювача - $I_{н.уст.тепл.}$

Для захисту електродвигунів виконавчих механізмів і електроприводів засувки струми розчеплювачів автоматів вибираються наступним чином. Номінальні струми електромагнітного, теплового або комбінованого розчеплювачів повинні бути не менше номінального струму двигуна.

$$I_{н.расц.} \geq I_{н.дв} \quad (27)$$

Тут і нижче слід враховувати: якщо навантаження двигуна значно менше номінальної потужності, то слід приймати тривалий розрахунковий струм лінії.

Струм уставки електромагнітного розчеплювача (відсічення) або електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача, з урахуванням неточності спрацьовування розчеплювача і відхилень дійсного пускового струму від даних каталогу, приймається рівним:

$$I_{уст.эл.магн.} \geq 1,25 I_{пуск} \quad (28)$$

де $I_{пуск}$ - пусковий струм двигуна.

Для групи двигунів:

$$I_{уст.эл.магн} \geq 1,25 \left(\sum I_{н.дв} + I'_{пуск} \right) \quad (29)$$

де $\sum I_{н.дв}$ - сума номінальних струмів одночасно працюючих двигунів до моменту пуску двигуна (групи двигунів), що дає найбільший приріст пускового струму;

$I'_{пуск}$ - пусковий струм двигуна (або групи двигунів, що запускають одночасно), що дає найбільший приріст пускового струму. Номінальний струм уставки теплового розчеплювача або теплового елемента комбінованого розчеплювача має бути:

$$I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дв} \quad (30)$$

Аналогічно вибираються уставки розчеплювачів автоматів і для захисту ланцюгів інших електроприймачів системи електроживлення (зрозуміло, якщо в цьому виникає необхідність, оскільки в більшості випадків для захисту приладів і інших електроприймачів малої потужності з міркувань чутливості виявляється необхідний застосовувати плавкі запобіжники). При цьому треба враховувати, що якщо автомат з електромагнітним розчеплювачем встановлюється в ланцюгах електроприймачів, при включенні яких не виникають кидки пускового струму, то потреби в відстроюванні від останніх немає і струм уставки електромагнітного розчеплювача в цьому випадку повинен вибиратися мінімально можливим.

Надійність спрацювання автоматів перевіряється також як і надійність спрацювання запобіжників за розрахунковим струмом короткого замикання в кінці ділянки, що захищається (при двофазному короткому замиканні для мереж з ізольованою нейтраллю і однофазним короткому замиканні - для мереж з глухозаземленою нейтраллю).

При цьому кратність струму короткого замикання по відношенню до струмів уставок розчеплювачів повинна, як вказувалося в п. 4.4, складати:

для автоматів тільки з електромагнітним розчеплювачем - 1,4;

для автоматів з комбінованим розчеплювачем, які мають зворотно залежну від струму характеристику - 3.

Подальші розрахунки, пов'язані з перевіркою спрацювання автоматичних вимикачів, аналогічні викладеним вище розрахункам і умовам перевірки спрацювання плавких запобіжників.

ТЕПЛОВІ РЕЛЕ МАГНІТНОГО ПУСКАЧА

Вибирається за номінальним струмом теплового елемента і номінальним струмом двигуна (або тривалим розрахунковим струмом):

$$I_{н.т} \geq I_{н.дв} \quad (31)$$

Додаток 3

4. Приклади установки апаратів управління в живильній і розподільних мережах системи електроживлення

Установка апаратів управління та захисту в живильній однофазній двухпроводовій мережі

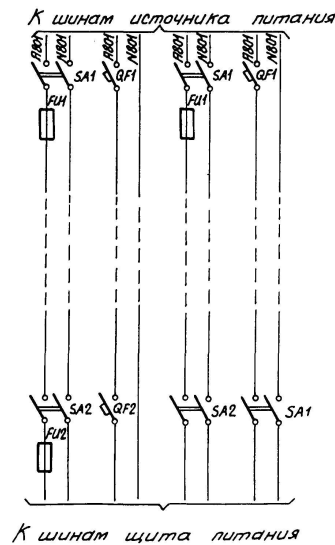


Рис. 1

Установка апаратів управління та захисту в живильній двухфазній двухпроводовій мережі і двухпроводовій мережі постійного струму

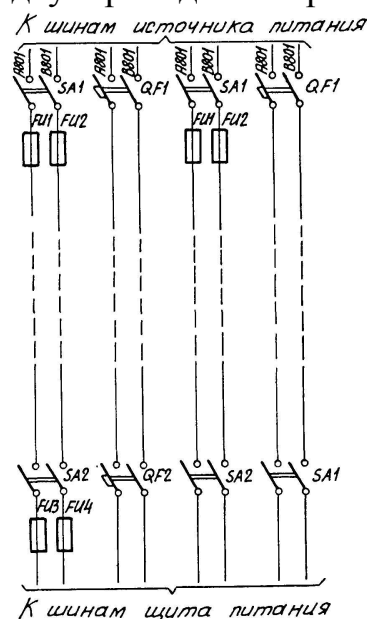


Рис. 2

Установка апаратів управління та захисту в живильній трифазній трехпроводній мережі

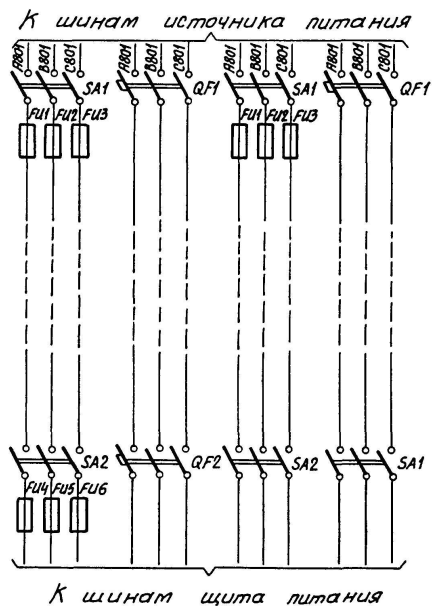


Рис. 3

Установка апаратів управління та захисту в живильній трифазній чотирьох мережі

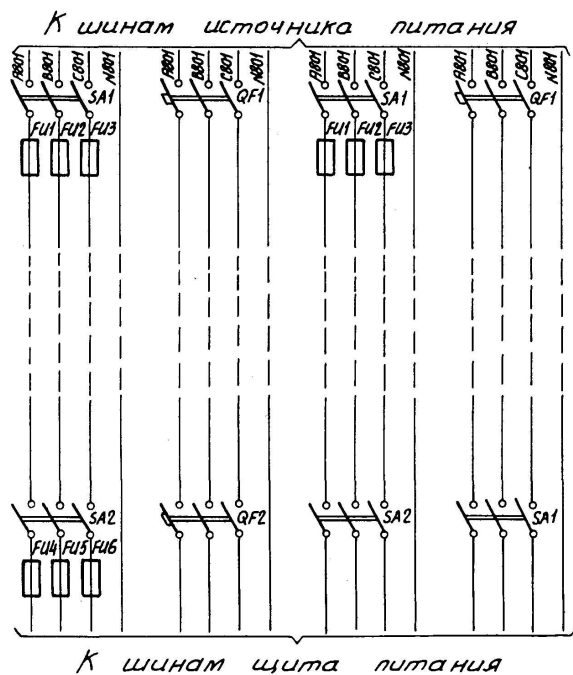
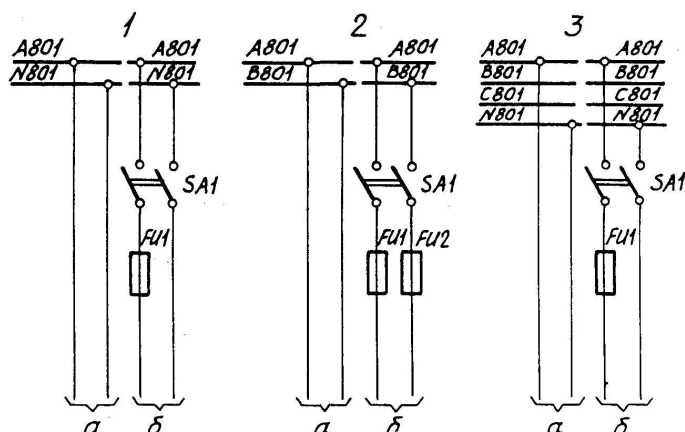


Рис. 4

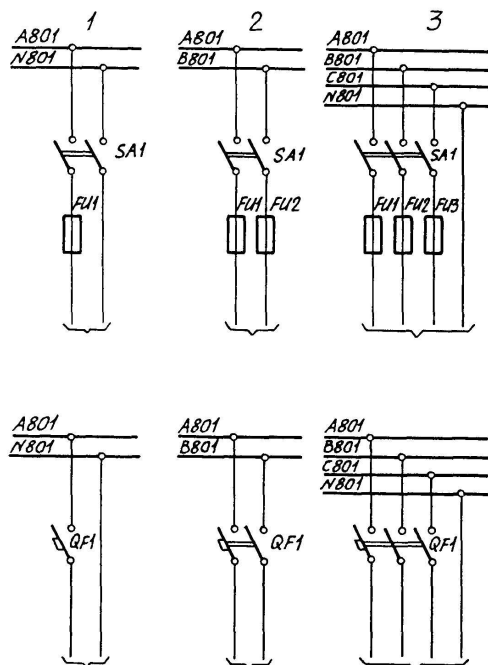
Схема живлення електроприймачів, що мають вбудовані вимикачі і запобіжники



- 1 - для однофазної двопроводової мережі;
 2 - для двофазної двопроводової мережі;
 3 - для трифазної чотирьохпроводової мережі.
 а - в разі суміщення щита живлення зі щитом, на якому розташований електроприймач;
 б - при окремо розташованому щиті живлення (більше 6 м).

Рис. 5

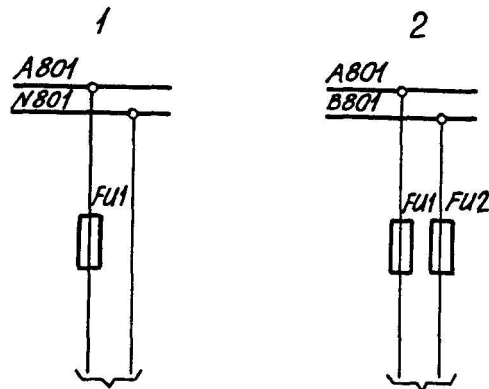
Схема живлення електроприймачів, які не мають вбудованих вимикачів і запобіжників



- 1 - для однофазної двопроводової мережі;
 2 - для двофазної двопроводової мережі;
 3 - для трифазної чотирьохпроводової мережі.

Рис. 6

Схема живлення електроприймачів, що мають вбудовані вимикачі

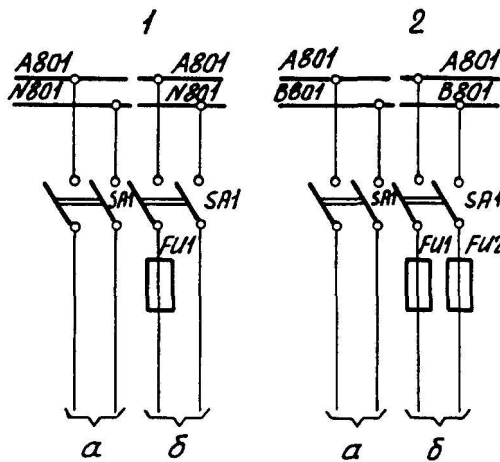


- 1 - для однофазної двопроводної мережі;
2 - для двофазної двопроводної мережі.

Примітка: Зміна запобіжників в даній схемі повинна проводитися при відключеному вимикачі приладу

Рис. 7

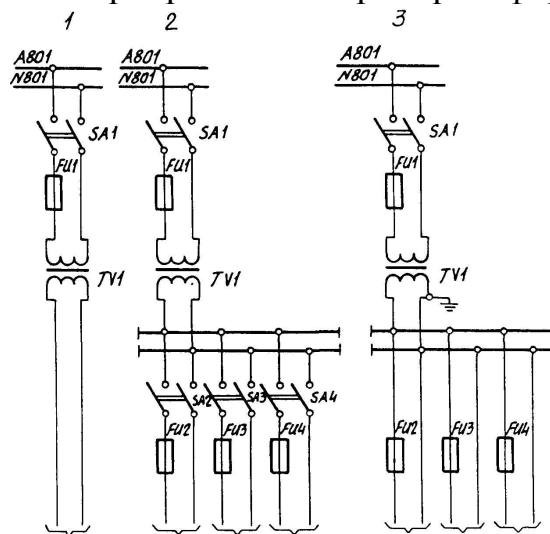
Схема живлення електроприймачів, що мають вбудовані запобіжники



- 1 - для однофазної двопроводної мережі;
2 - для двофазної двопроводної мережі.
а - в разі суміщення щита живлення зі щитом, на якому встановлений електроприймач
б - при окремому щиті живлення (більше 6 м).

Рис. 8

Схема живлення електроприймачів через трансформатор



- 1 - одного електроприймача;
- 2 - кількох електроприймачів, в яких відсутні вбудовані вимикачі і запобіжники;
- 3 - кількох штепсельних розеток.

Рис. 9

Схема живлення приладів регулювання

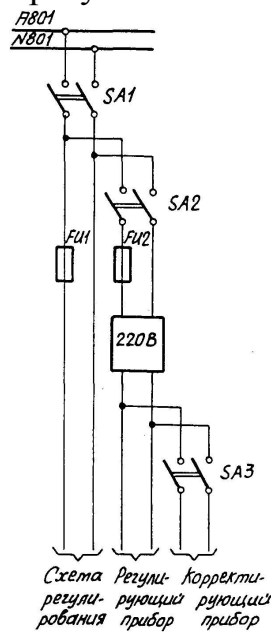


Рис. 10

5. РОЗРАХУНОК ПЕРЕРІЗУ ЖИЛ ПРОВОДІВ І КАБЕЛІВ

Переріз жил проводів і кабелів за умовою нагрівання визначається за табл. 1-5 (таблиці складені на підставі даних глави 1-3 ПУЕ; додаткові вказівки за допустимим струмовим навантаженням проводів і кабелів враховують умови прокладки відмінні від наведених у таблицях, містяться в главі 1-3 ПУЕ)

Розрахунковий струм, за яким здійснюється вибір перерізу провідників, визначається як більша величина з двох співвідношень: умови нагрівання тривалим розрахунковим струмом

$$I_{н.д} \geq \frac{I_{длит.}}{K_n} \quad (1)$$

і умови відповідності обраному апарату захисту

$$I_{н.д} \geq \frac{K_z I_z}{K_n} \quad (2)$$

де K_n - поправочний коефіцієнт на умови прокладання проводів і кабелів;

K_z - кратність допустимого тривалого струму для проводу або кабелю за відношенням до номінального струму або струму спрацьовування захисного апарату;

I_z - номінальний струм або струм спрацьовування захисного апарату, А.

$I_{н.д}$ - допустимий тривалий струм для проводу або кабелю при нормальних умовах прокладки, який визначається за таблицями допустимих струмових навантажень на проводи та кабелі (табл. 1-5).

При розрахунках мереж системи електроживлення в переважній більшості випадків можна поправочний коефіцієнт на умови прокладання проводів і кабелів не вводити.

Тоді вирази (1) і (2) спрощуються:

$$I_{н.д} \geq I_{длит.} \quad (3)$$

$$I_{н.д} \geq K_z I_z \quad (4)$$

Таблиця 1

Допустимий тривалий струм проводів з гумовою і
поліхлорвінілової ізоляцією з мідними жилами

Перетин струмо- провідної жили, мм ²	Струмові навантаження, А					
	Проводи, прокладені відкрито	Проводи, прокладені в одній трубі				
		Два одножильных	Три одножильных	Четыре одножильных	Один двухжильный	Один трехжильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2,0	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3,0	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

Таблиця 2

Допустимий тривалий струм проводів з гумовою і
поліхлорвінілової ізоляцією з алюмінієвими жилами

Перетин струмо- провідної жили, мм ²	Струмові навантаження, А					
	Проводи, прокладені відкрито	Проводи, прокладені в одній трубі				
		Два одножильных	Три одножильных	Четыре одножильных	Один двухжильный	Один трехжильный
2,0	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	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55

Таблиця 3

Допустимий тривалий струм проводів з мідними жилами, з гумовою ізоляцією в металевих захисних оболонках і кабелів з мідними жилами, з гумовою ізоляцією в свинцевій, поліхлорвінілової, найритовими або гумової оболонках, броньованих і неброньованих

Перетин струмо- провідної жили, мм ²	Струмові навантаження, А				
	Проводи і кабелі				
	Одножильный	Двухжильные		Трёхжильные	
	При прокладці				
	в повітрі	в повітрі	в землі	в повітрі	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

Таблиця 4

Допустимий тривалий струм кабелів з алюмінієвими жилами, з гумовою або пластмасовою ізоляцією в свинцевій, поліхлорвінілової і гумовою оболонках, броньованих і неброньованих

Перетин струмо- провідної жили, мм ²	Струмові навантаження, А				
	одножильные	двухжильные		трехжильные	
	при прокладці				
	в повітрі	в повітрі	в землі	в повітрі	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

Таблиця 5

Допустимий тривалий струм проводів з алюмомідними жилами

Номінальна перетин дроту проводу, мм ²	Допустиме струмове навантаження, А			
	Проводи, прокладені відкрито	Проводи, прокладені в одній трубі		
		2 проводів	3 проводів	4 проводів
1,5	22,3	18,7	16,4	14,1
2,5	29,6	24,9	23,7	23,7
4,0	39,6	34,8	34,8	28,8
6,0	51,1	46,1	41,1	38,6
10,0	68,7	57,6	54,3	45,4

Значення коефіцієнта K_z в залежності від характеру мережі, типу ізоляції проводів и кабелів та умов їх прокладання наведені в табл. 6.

Таблиця 6

Мінімальні кратності допустимих струмових навантажень на проводи та кабелі за відношенням до номінальних струмів або струмів спрацьовування захисних апаратів

Струм захисного апарату I_z	Кратність допустимих тривалих струмів K_z			
	Мережі, для яких захист від перевантаження обов'язкове			Мережі, які не потребують захисту від перевантаження
	Провідники з гумовою і аналогічною за тепловими характеристиками ізоляцією		Кабелі с паперовою ізоляцією	
	вибухо- і пожежонебезпечні приміщення, житлові, торгові приміщення і т.п.	вибухо- і пожежобезпечні побутові споруди		
Номінальний струм плавкої вставки запобіжника	1,25	1,0	1,0	0,33
Струм спрацьовування (уставки) автоматичного вимикача, що має тільки електромагнітний расцепитель (максимальний миттєво діючий расцепитель)	1,25	1,0	1,0	0,22
Номінальний струм розчеплювача (теплового або комбінованого) автоматичного вимикача з нерегульованою зворотного залежною від струму характеристикою (незалежно від наявності або відсутності відсічення)	1,0	1,0	1,0	1,0
Струм спрацьовування (зрушення) расцепителя автоматичного вимикача з регульованою назад залежною від струму характеристикою (при наявності на автоматичному вимикачі відсічення її кратність струму не обмежується)	1,0	1,0	0,8	0,66

Обраний за умовами нагрівання електричним струмом перетин провідників повинен відповідати також умовою механічної міцності і перевірено за втратою напруги.

Найменші допустимі перерізи жил проводів і кабелів за умовою механічної міцності повинні відповідати вимогам п.п. 4.14, 6.26 і 7.17 ВСН 205-84 / ММСС СРСР.

При перевірочних розрахунках мереж системи електроживлення за втраті напруги досить враховувати тільки активний опір ліній, якщо для

цих мереж обрані мідні або алюмінієві дроти та кабелі перетином жил до 16-25 мм².

Крім того, без урахування індуктивного опору ліній розраховуються:

а) мережі постійного струму;

б) мережі змінного струму, для яких $\cos \varphi = 1$.

Вирази для визначення втрати напруги матимуть вигляд:

для трифазної лінії змінного струму

$$\Delta U = \frac{100}{\gamma U_n^2} \frac{\sum Pl}{F}, \% \quad (5)$$

$$\Delta U = \frac{100\sqrt{3}}{\gamma U_n} \frac{\sum I_a l}{F}, \% \quad (6)$$

для двухпроводной лінії змінного або постійного струму

$$\Delta U = \frac{200}{\gamma U_n^2} \frac{\sum Pl}{F}, \% \quad (7)$$

$$\Delta U = \frac{200}{\gamma U_n} \frac{\sum I_a l}{F}, \% \quad (8)$$

де γ - питома провідність матеріалу проводів ($\gamma = 53$ м/ом·мм² - для мідних провідників та $\gamma = 31,7$ м/ом·мм² - для алюмінієвих провідників);

U_n - номінальна напруга мережі, кВ (для трифазної мережі U_n - міжфазна напруга)

F - перетин провідників, мм²

P – навантаження, кВт

I_a - активна складова струму, А

l - довжина ділянки, км.

Додаток 5

6. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКІВ З ВИБОРУ АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ, ЗАХИСТУ ТА ПЕРЕРІЗУ ЖИЛ ПРОВОДІВ І КАБЕЛІВ

Потрібно вибрати апарати управління і захисту, а також розрахувати перетин жил проводів і кабелів схеми електроживлення системи автоматизації, наведеної на рис. 1*.

* Як приклад, наводиться розрахунок конкретної електронних схем, що знаходиться в експлуатації; частково прилади, що входять до складу схеми, з виробництва зняті або замінені іншими, проте для цілей даного посібника це значення не має.

Від шин розподільного щита отримують харчування силова збірка засувки і щит живлення.

Від силової збірки живляться два електроприводу засувок з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Електродвигуни, силова збірка і пускова апаратура встановлені в приміщенні з нормальним середовищем. Технічні характеристики двигунів вказані в табл. 1. Режим роботи двигунів виключає можливість тривалих перевантажень, умови їх пуску неважкі. Обидва двигуни можуть працювати одночасно.

До щита живлення підключені:

а) система регулювання температури, споживачами електроенергії якої є магнітний підсилювач типу УМД-25, виконавчий механізм типу МЕВ-25/100, показчик положення типу ДУП-Б і електронні прилади типу РПБч-Т і КП-Т. Останні живляться через стабілізатор напруги типу С-0,16;

б) електронний потенціометр типу ПС1-01;

в) електронний міст типу ЕМР-209РМЗ;

г) схема сигналізації, в якій споживачами електроенергії є ІІ реле типу МКУ-48 і 10 ламп Ц-220-10. Технічні характеристики цих електроприймачів вказані в табл. 2.

Схема електроживлення

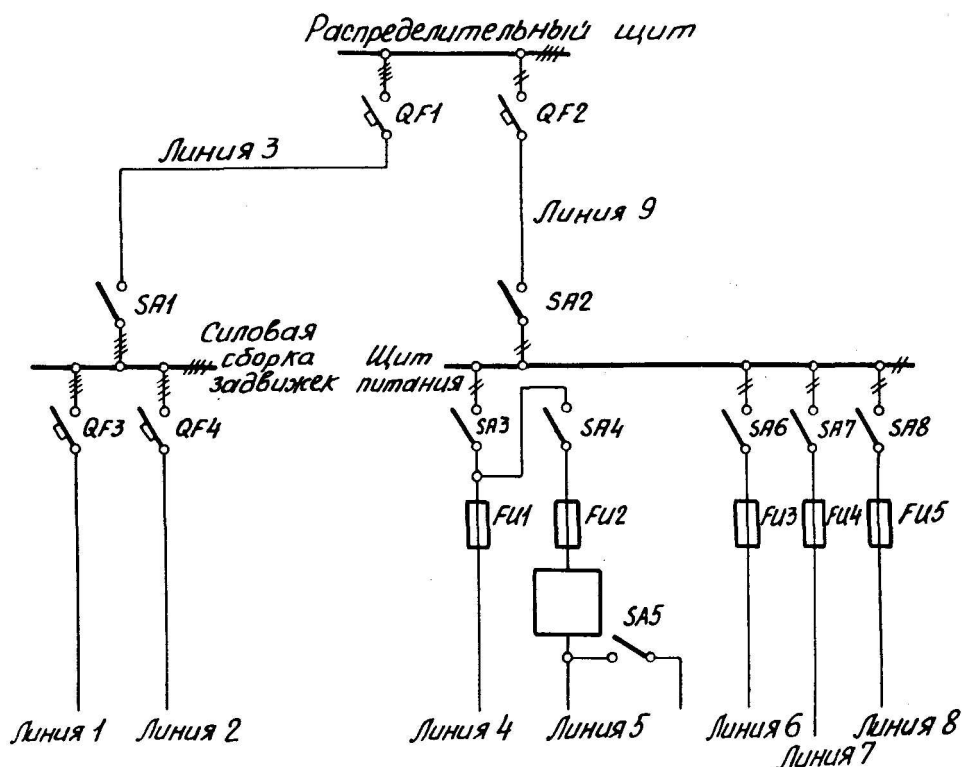


Рис. 1

Всі електроприймачі і апаратура живлення встановлені на щитах, що знаходяться в приміщенні з нормальним середовищем.

Електропроводка від силового трансформатора до розподільного щита виконана кабелем з алюмінієвими жилами, а вся інша – проводами з алюмінієвими жилами, прокладеними в захисних трубах.

Таблиця 1

Технічні характеристики електродвигунів

№ лінії	Тип	Ном. потужність, P , Вт	Номін. напруга, U_n , В	Номін. струм, I_n , А	Кратність пускового струму	Пусковий струм, $I_{пуск}$, А
1	A02-62-2	17000	380	32,5	7	228
2	A02-51-4	7500	380	14,8	7	103,5

Таблиця 2

Технічні характеристики електроприймачів

№ лінії	Найменування і тип електроприймача	Номін. потужність, S , ВА (P , Вт)	Номін. напруга $U_{н.ф}$, В
4	Система регулювання температури: а) підсилювач УМД-25 б) виконавчий механізм МЭО-25/100 в) вказівник ДУП-Б	300	220
5	Система регулювання температури: г) електронний регулюючий прилад РПИБ _ч -Т д) електронний коректуючий прилад КПІ-Т	40 30	стабілізоване 220
6	Електронний потенціометр ПС1-01	60	220
7	Електронний міст ЭМР-209РМЗ	150	220
8	Схема сигналізації: а) 11 реле МКУ-48 б) 10 ламп Ц-220-10	110 (100)	220 220

Відповідно до вимог, викладених у цьому посібнику, вибір апаратів управління, захисту і перетинів провідників доцільно вести в такій послідовності:

- визначаються тривалі і короточасні розрахункові струми ліній;
- за величиною розрахункових струмів ліній проводиться вибір апаратів управління та захисту;

- проводиться вибір перетинів провідників за величиною розрахункових струмів ліній і за умовою відповідності обраним апаратам захисту, а також перевіряється відповідність обраних перетинів жил проводів і кабелів найменшим допустимим перетинам провідників за механічною міцністю;
- перевіряються надійність і селективність дії захисних апаратів при короткому замиканні в найбільш віддаленій точці мережі;
- в необхідних випадках (наприклад, при довгих малонавантажених лініях) проводиться перевірка перетинів провідників за втратою напруги.

I. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СТРУМІВ ЛІНІЙ

Лінія 1

Тривалим розрахунковим струмом лінії є номінальний струм двигуна

$$I_{\text{длит.}} = I_{\text{н.дв}} = 32,5 \text{ А}$$

Короткочасним струмом лінії буде пусковий струм двигуна

$$I_{\text{кр.}} = I_{\text{пуск}} = 228 \text{ А}$$

Лінія 2

Тривалим розрахунковим струмом лінії є номінальний струм двигуна

$$I_{\text{длит.}} = I_{\text{н.дв}} = 14,8 \text{ А}$$

Короткочасним струмом лінії буде пусковий струм двигуна

$$I_{\text{кр.}} = I_{\text{пуск}} = 103,5 \text{ А}$$

Лінія 3

Тривалим розрахунковим струмом лінії буде сума номінальних струмів двигунів

$$I_{\text{длит.}} = \Sigma I_{\text{н.дв}} = 32,5 + 14,8 = 47,3 \text{ А}$$

Короткочасний струм лінії визначаємо з умови, що двигун № 2 працює, а двигун № 1 запускається

$$I_{\text{кр.}} = I_{\text{н.дв.2}} + I_{\text{пуск.1}} = 14,8 + 228 = 242,8 \text{ А}$$

Лінія 4

Розрахунковий струм лінії визначаємо за формулою

$$I = \frac{1000S}{U_{\text{н.ф}}} = \frac{1000 \cdot 0,3}{220} = 1,37 \text{ А}$$

Лінія 5

Розрахунковий струм лінії дорівнює:

$$I = \frac{1000S}{U_{\text{н.ф}}} = \frac{1000 \cdot 0,07}{220} = 0,32 \text{ А}$$

Лінія 6

Розрахунковий струм лінії дорівнює

$$I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,06}{220} = 0,27 \text{ А}$$

Лінія 7

Розрахунковий струм лінії дорівнює

$$I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,15}{220} = 0,68 \text{ А}$$

Лінія 8

Розрахунковий струм лінії визначаємо за формулою

$$I = \sum I_p + 0,1 \sum I'_s,$$

яка враховує, що частина реле і ламп схеми сигналізації можуть працювати одночасно, а частина - в цей же час може включатися. У розглянутому прикладі одночасно можуть працювати 5 реле і 5 ламп. Струм, що протікає через одне реле МКУ-48, дорівнює

$$I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,01}{220} = 0,046$$

Струм, що протікає через одну лампу Ц-220-10 дорівнює

$$I = \frac{1000S}{U_{н.ф}} = \frac{1000 \cdot 0,01}{220} = 0,046$$

$$\sum I_p = 0,046 \cdot 5 + 0,046 \cdot 5 = 0,46 \text{ А}$$

Одночасно можуть включатися 2 реле и 2 лампи

$$\sum I'_s = 0,046 \cdot 2 + 0,046 \cdot 2 = 0,184 \text{ А}$$

Тоді розрахунковий струм лінії буде

$$I = 0,46 + 0,1 \cdot 0,184 = 0,48 \text{ А}$$

Лінія 9

Розрахунковий струм лінії визначимо як суму розрахункових струмів ліній 4, 5, 6, 7, 8.

$$I = 1,37 + 0,32 + 0,27 + 0,68 + 0,48 = 3,12 \text{ А.}$$

Величина розрахункових струмів всіх ліній зведені в табл. 3

Таблиця 3

Номер лінії		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розрахунковий струм	тривалий	32,5	14,8	47,3	1,37	0,32	0,27	0,68	0,48	3,12
	короткочасний	228	103,5	242,8						

II. ВИБІР АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ

Застосовуємо наступні апарати управління і захисту:

- а) в лініях 1 і 2 - автомати і магнітні пускачі;
- б) в лінії 3 - автомат, встановлений в розподільному щиті і вимикач - на вводі в силову збірку засувки;
- в) в лініях 4, 5, 6, 7, 8 - вимикачі і запобіжники;
- г) в лінії 9 - автомат, встановлений в розподільному щиті і вимикач - на вводі в щит живлення.

1. ВИБІР АПАРАТІВ УПРАВЛІННЯ

Лінія 3

Виходячи з формул (1) и (2) додатку 2 обираємо пакетний вимикач типу ПВМ3-100:

$$U_n \geq U_{н.сети}, \sim 380 \text{ В} = \sim 380 \text{ В}$$

$$I_n \geq I_{длит.}, 63 \text{ А} > 47,3 \text{ А}$$

Лінії 4, 5, 6, 7, 8, 9

Виходячи з формул (1) и (2) додатку 2, обираємо пакетні вимикачі типу ПВМ2-10, з урахуванням що найбільший тривалий струм дорівнює 3,12 А (лінія 9):

$$U_n \geq U_{н.сети}, \sim 220 \text{ В} = \sim 220 \text{ В}$$

$$I_n \geq I_{длит.}, 10 \text{ А} > 3,12 \text{ А}$$

Основні технічні дані апаратів управління, встановлених в схемі, зведені в табл. 4

Таблица 4

Основні технічні дані апаратів управління

Номер лінії	3	4	5	6	7	8	9
Позначення апарата	В1	В3	В4	В6	В7	В8	В2
Тип апарата	ПВМ3-100	ПВМ2-10					
Номінальна напруга, U_n , В	~ 380	~ 220					
Номінальний струм, I_n , А	63	10					

2. ВИБІР АПАРАТІВ ЗАХИСТУ

Лінія 1

Виходячи з формул (25) і (26) Додатку 2, обираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ:

$$U_{н.а} \geq U_{н.с}, \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} \geq I_{длит.}, 50 \text{ А} > 32,5 \text{ А}$$

Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача за формулою (27) додатку 2

$$I_{н.расц} \geq I_{н.дв}, I_{н.расц} \geq 32,5 \text{ А}$$

Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.расц} = 40 \text{ А}$

Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача за формулою (28) додатку 2:

$$I_{уст.эл.магн} \geq 1,25 I_{пуск}, I_{уст.эл.магн} \geq 1,25 \cdot 228 = 285 \text{ А}$$

$$\frac{I_{уст.эл.магн}}{I_{н.расц}} = \frac{285}{40} = 7,1$$

Приймаємо $I_{уст.эл.магн} = 8 I_{н.расц}$.

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача за формулою (30) додатку 2

$$I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дв}, I_{н.уст.тепл} \geq 32,5 \text{ А}$$

Відстроюємо автомат на $I_{н.уст.тепл} = 33 \text{ А}$

Лінія 2

Виходячи з формул (25) і (26) Додатку 2, обираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ:

$$U_{н.а} \geq U_{н.с}, \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} \geq I_{длит.}, 50 \text{ А} > 14,8 \text{ А}$$

Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача за формулою (27) додатку 2

$$I_{н.расц} \geq I_{н.дв}, I_{н.расц} \geq 14,8 \text{ А}$$

Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.расц} = 16 \text{ А}$

Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача за формулою (28) додатку 2

$$I_{уст.эл.магн} \geq 1,25 I_{пуск}, I_{уст.эл.магн} \geq 1,25 \cdot 103,5 = 130 \text{ А}$$

$$\frac{I_{уст.эл.магн}}{I_{н.расц}} = \frac{130}{16} = 8,1$$

Приймаємо $I_{уст.эл.магн} = 8 I_{н.расц}$.

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача за формулою (30) додатку 2

$$I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дв}, I_{н.уст.тепл} \geq 14,8 \text{ А}$$

Відстроюємо автомат на $I_{н.уст.тепл} = 15 \text{ А}$

Лінія 3

Виходячи з формул (25) і (26) Додатку 2, обираємо автоматичний вимикач типу АП50-3МТ:

$$U_{н.а} \geq U_{н.с}, \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} \geq I_{длит.}, 50 \text{ А} > 47,3 \text{ А}$$

Визначаємо номінальний струм комбінованого розчеплювача за формулою (27) додатку 2

$$I_{н.расц} \geq I_{н.дв}, I_{н.расц} \geq 47,3 \text{ А}$$

Вибираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.расц} = 50 \text{ А}$

Визначаємо струм уставки (відсічення) електромагнітного елемента комбінованого розчеплювача за формулою (29) додатку 2

$$I_{уст.эл.магн} \geq 1,25 (\Sigma I_{н.дв} + I'_{пуск.}), I_{уст.эл.магн} \geq 1,25 \cdot 242,8 = 304 \text{ А}$$

$$\frac{I_{уст.эл.магн}}{I_{н.расц}} = \frac{304}{50} = 6$$

$$\text{Приймаємо } I_{уст.эл.магн} = 8 I_{н.расц}.$$

Визначаємо номінальний струм уставки теплового елемента комбінованого розчеплювача за формулою (30) додатку 2

$$I_{н.уст.тепл} \geq I_{н.дв}, I_{н.уст.тепл} \geq 47,3 \text{ А}$$

Відстроюємо автомат на $I_{н.уст.тепл} = 48 \text{ А}$

Лінія 4

Виходячи з формул (4) і (5) додатку 2, обираємо запобіжники типа ПТ:

$$U_{н.пред} \geq U_{н.сети}, \sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$$

$$I_{н.вст} \geq I_{длит.}, I_{н.вст} > 1,37 \text{ А}$$

$$\text{Приймаємо } I_{н.вст} = 2 \text{ А}$$

Лінія 5

Виходячи з формул (4) і (5) додатку 2, обираємо запобіжники типа ПТ:

$$U_{н.пред} \geq U_{н.сети}, \sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$$

$$I_{н.вст} \geq I_{длит.}, I_{н.вст} > 0,32 \text{ А}$$

$$\text{Приймаємо } I_{н.вст} = 0,5 \text{ А}$$

Лінія 6

Виходячи з формул (4) і (5) додатку 2, обираємо запобіжники типа ПТ:

$$U_{н.пред} \geq U_{н.сети}, \sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$$

$$I_{н.вст} \geq I_{длит.}, I_{н.вст} > 0,27 \text{ А}$$

$$\text{Приймаємо } I_{н.вст} = 0,5 \text{ А}$$

Лінія 7

Виходячи з формул (4) і (5) додатку 2, обираємо запобіжники типа ПТ:

$$U_{н.пред} \geq U_{н.сети}, \sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$$

$$I_{н.вст} \geq I_{длит.}, I_{н.вст} > 0,68 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{н.вст} = 1 \text{ А}$

Лінія 8

Виходячи з формул (4) і (5) додатку 2, обираємо запобіжники типа ПТ:

$$U_{н.пред} \geq U_{н.сети}, \sim 250 \text{ В} > \sim 220 \text{ В}$$

$$I_{н.вст} \geq I_{длит.}, I_{н.вст} > 0,48 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{н.вст} = 0,5 \text{ А}$

Лінія 9

Виходячи з формул (25) і (26) Додатку 2, обираємо автоматичний вимикач типу АП50-2М:

$$U_{н.а} \geq U_{н.с}, \sim 500 \text{ В} > \sim 380 \text{ В}$$

$$I_{н.а} \geq I_{длит.}, 50 \text{ А} > 3,12 \text{ А}$$

Визначаємо номінальний струм електромагнітного розчеплювача за розрахунковим струмом лінії, що дорівнює $I_{расц.} = 3,12 \text{ А}$

$$I_{н.расц.} > 3,12 \text{ А}$$

Обираємо розчеплювач з номінальним струмом $I_{н.расц.} = 4 \text{ А}$

Так як автомат встановлено в ланцюга живлення електроприймачів, при включенні яких не виникають кидки пускового струму, то струм уставки електромагнітного розчеплювача вибираємо мінімально можливим,

$$I_{уст.эл.магн} = 3,5 I_{н.расц.}$$

Основні технічні характеристики апаратів захисту, встановлених в схемі, зведені в табл. 5.

Таблиця 5

Технічні характеристики апаратів захисту

Номер лінії	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Позначення апарата	QF3	QF4	QF1	FU1	FU2	FU3	FU4	FU5	QF2
Тип апарата	АП50-3МТ			ПТ					АП50-2М
Струм розчеплювача автомата, $I_{н.расц.}$, А	40	16	50	-	-	-	-	-	4
Струм уставки ел. магн. розчеплювача $I_{уст.эл.магн.}$	$8I_{н.расц.}$			-	-	-	-	-	$3,5I_{н.расц.}$
Струм уставки теплового розчеплювача $I_{н.уст.тепл.}$, А	33	15	48	-	-	-	-	-	-
Струм плавкої вставки запобіжника $I_{н.вст.}$, А	-	-	-	2	0,5	0,5	1	0,5	-

3. ВИБІР МАГНІТНИХ ПУСКАЧІВ І ТЕПЛОВИХ РЕЛЕ

Лінія 1

Виходячи з формули (1) додатки 2 вибираємо магнітний пускач типу ПА-300 без теплових реле. Захист від перевантаження даної лінії здійснюється тепловим елементом комбінованого розчеплювача автоматичного вимикача.

Лінія 2

Виходячи з формули (1) додатки 2, вибираємо магнітний пускач типу ПМЕ-200 без теплових реле. Захист від перевантаження даної лінії здійснюється тепловим елементом комбінованого розчеплювача автоматичного вимикача.

III. ВИБІР ПЕРЕРІЗУ ПРОВІДНИКІВ

Лінія 1

Допустимий тривалий струм для проводів визначається як велика величина з (3) і (4) додатку 4:

$$I_{н.д} \geq I_{длит.}, I_{н.д} \geq 32,5 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq K_z I_z, I_{н.д} \geq 0,66 \cdot 40 = 26,4 \text{ А}$$

Значення $I_{длит.}$ визначається за табл. 3 додатку 5, K_z - за табл. 6 додатку 4, I_z - по табл. 5 додатку 5.

Таким чином, розрахунковим струмом для вибору перерізів провідників є струм $I_{н.д} \geq 32,5 \text{ А}$

Для даного значення струму і прийнятого виду електропроводки за табл. 2 додатка 4 вибираємо провідники перетином 10 мм^2 , для яких тривале допустиме навантаження дорівнює 39 А.

Обраний перетин проводів задовольняє і умовою механічної міцності.

Вибір перетинів провідників для інших ліній проводиться аналогічно.

Лінія 2

$$I_{н.д} \geq 14,8 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq 0,66 \cdot 16 = 10,6 \text{ А}$$

Вибираємо провідники перетином $2,5 \text{ мм}^2$ з тривалим допустимим навантаженням 19 А.

Лінія 3

$$I_{н.д} \geq 47,3 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq 0,66 \cdot 50 = 33 \text{ А}$$

Вибираємо провідники перетином 16 мм² з тривалим допустимим навантаженням 55 А.

Лінія 4

$$I_{н.д} \geq 1,37 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq 0,33 \cdot 2 = 0,66 \text{ А}$$

Вибираємо провідники перетином 2,5 мм² з тривалим допустимим навантаженням 19 А.

Лінія 5

$$I_{н.д} \geq 0,32 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq 0,33 \cdot 0,5 = 0,165 \text{ А}$$

Вибираємо провідники перетином 2,5 мм² з тривалим допустимим навантаженням 19 А.

Лінія 6

$$I_{н.д} \geq 0,27 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq 0,33 \cdot 0,5 = 0,165 \text{ А}$$

Вибираємо провідники перетином 2,5 мм² з тривалим допустимим навантаженням 19 А.

Лінія 7

$$I_{н.д} \geq 0,68 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq 0,33 \cdot 1 = 0,33 \text{ А}$$

Вибираємо провідники перетином 2,5 мм² з тривалим допустимим навантаженням 19 А.

Лінія 8

$$I_{н.д} \geq 0,48 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq 0,33 \cdot 0,5 = 0,165 \text{ А}$$

Вибираємо провідники перетином 2,5 мм² з тривалим допустимим навантаженням 19 А.

Лінія 9

$$I_{н.д} \geq 3,12 \text{ А}$$

$$I_{н.д} \geq 0,22 (3,5 \cdot 4) = 3,08 \text{ А}$$

Вибираємо провідники перетином 2,5 мм² з тривалим допустимим навантаженням 19 А.

Обрані перетини проводів зведені в табл. 6

Таблиця 6

Перетин проводів

№ лінії	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Перетин проводу, мм ²	10	2,5	16	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

IV. ПЕРЕВІРКА НАДІЙНОСТІ І СЕЛЕКТИВНОЇ ДІЇ АПАРАТІВ ЗАХИСТУ ПРИ КОРОТКОМУ ЗАМИКАННІ

Як приклад виконаємо розрахунок (наближений) струмів однофазного короткого замикання в лініях електроприводів живлення засувки і потенціометра (лінії 1 та 6). Схема для розрахунку струмів короткого замикання наведена на рис. 2.

Для зручності розрахунків ділянки ліній на схемі позначені буквами.

Коротке замикання в точці 1

Визначаємо повний опір ланцюга струму короткого замикання для петлі фаза-нуль за формулою (15) додатку 2:

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(\sum R_{\phi} + \sum R_0)^2 + (\sum X_{\phi} + \sum X_0)^2} + Z_{m(1)}$$

Активний опір фазного і нульового провідників ділянок мережі, визначаємо за формулами (16) і (18) додатку 2.

Схема до розрахунку струмів короткого замикання

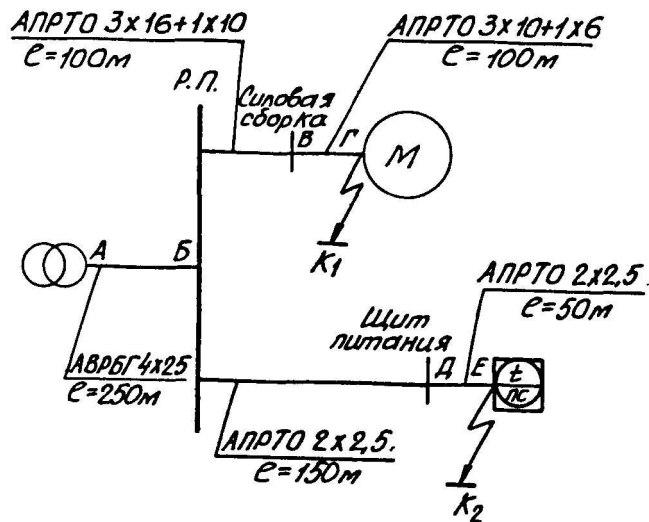


Рис. 2

$$R_{\phi} = \frac{\rho \cdot l}{S_{\phi}}, \quad R_{\phi AB} = \frac{32 \cdot 0,25}{25} = 0,32 \text{ Ом}$$

$$R_{\phi BB} = \frac{32 \cdot 0,1}{16} = 0,20 \text{ Ом}$$

$$R_{\phi BG} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом}$$

$$R_0 = \frac{\epsilon \cdot l}{S_0}, R_{0AB} = \frac{32 \cdot 0,25}{25} = 0,32 \text{ Ом}$$

$$R_{0BB} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом}$$

$$R_{0BG} = \frac{32 \cdot 0,1}{6} = 0,53 \text{ Ом}$$

Тоді

$$\Sigma R_{\phi} = R_{\phi AB} + R_{\phi BB} + R_{\phi BG} = 0,32 + 0,2 + 0,32 = 0,84 \text{ Ом}$$

$$\Sigma R_0 = R_{0AB} + R_{0BB} + R_{0BG} = 0,32 + 0,32 + 0,53 = 1,17 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір фазного і нульового проводів ділянок мережі визначаємо за формулами (17) і (18) додатку 2:

$$X_{\phi} = a l, X_{\phi AB} = 0,07 \cdot 0,25 = 0,017 \text{ Ом}$$

$$X_{\phi BB} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом}$$

$$X_{\phi BG} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом}$$

$$X_0 = a l, X_{0AB} = 0,07 \cdot 0,25 = 0,017 \text{ Ом}$$

$$X_{0BB} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом}$$

$$X_{0BG} = 0,09 \cdot 0,1 = 0,009 \text{ Ом}$$

Тоді

$$\Sigma X_{\phi} = X_{\phi AB} + X_{\phi BB} + X_{\phi BG} = 0,017 + 0,009 + 0,009 = 0,035 \text{ Ом}$$

$$\Sigma X_0 = X_{0AB} + X_{0BB} + X_{0BG} = 0,017 + 0,009 + 0,009 = 0,035 \text{ Ом}$$

Як видно з розрахунку, індуктивні опору фазного і нульового проводів виявляються незначними і можуть не враховуватися в подальших розрахунках.

Розрахункова повний опір трансформатора струму короткого замикання визначаємо за формулою (22) додатку 2:

$$Z_{m(1)} = \frac{22}{S_m} K^2$$

$$K = \frac{U_{н.с}}{380} = \frac{380}{380} = 1$$

$$Z_{m(1)} = \frac{22}{1000} = 0,02 \text{ Ом}$$

Тоді

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(0,84 + 1,17)^2 + 0,02} = 2,03$$

Струм однофазного короткого замикання визначаємо за формулою (12) додатку 2:

$$I_{к.з.(1)} = \frac{U_{н.с}}{\sqrt{3} Z_{\phi-0}}, I_{к.з.(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 2,03} = 107 \text{ А}$$

Кратність струму короткого замикання повинна бути не менше:

$$\frac{I_{к.з.(1)}}{I_{н.расц}} = 3$$

В нашому прикладі

$$\frac{I_{к.з.(I)}}{I_{н.расц}} = \frac{107}{40} < 3$$

тобто необхідна умова не виконується.

Щоб струм короткого замикання перевищував номінальний струм розчеплювача в 3 рази, необхідно зменшити повний опір ланцюга струму короткого замикання. Для цього доводиться збільшувати перетин проводів. Прийmemo перетин нульових проводів рівним перетину фазних проводів на лініях БВ і ВГ.

Тоді

$$R_{фБВ} = R_{0БВ} = \frac{32 \cdot 0,1}{16} = 0,2 \text{ Ом}$$

$$R_{фВГ} = R_{0ВГ} = \frac{32 \cdot 0,1}{10} = 0,32 \text{ Ом}$$

$$\Sigma R_{\phi} = \Sigma R_0 = 0,32 + 0,2 + 0,32 = 0,84 \text{ Ом}$$

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(0,84 + 0,84)^2 + 0,02} = 1,7 \text{ Ом}$$

В цьому випадку

$$I_{к.з.(I)} = \frac{380}{1,73 \cdot 1,7} = 130 \text{ А}$$

$$\frac{I_{к.з.(I)}}{I_{н.расц}} = \frac{130}{40} > 3$$

тобто необхідна умова виконана.

Перевіримо селективність дії автоматичних вимикачів при струмі короткого замикання $I_{к.з.(I)} = 130 \text{ А}$

Цей струм проходить послідовно через два автоматичних вимикача QF1 і QF3 (див. Рис. 1) з номінальними струмами розчеплювачів 50 А и 40 А.

При цьому струмі короткого замикання повинен спрацювати тільки автоматичний вимикач QF3 з номінальним струмом розчеплювача 40 А.

Визначаємо час спрацьовування автоматичного вимикача за його час-струмовою характеристикою:

при кратності струму перевантаження, рівного

$$\frac{I}{I_n} = \frac{130}{40} = 3,2$$

час спрацьовування автоматичного вимикача дорівнює 18 сек. (Час-струмові характеристики автоматичних вимикачів дані в інструкціях за експлуатації).

Визначаємо час спрацьовування автоматичного вимикача QF1 за його час-струмовою характеристикою:

при кратності струму перевантаження, рівного

$$\frac{I}{I_n} = \frac{130}{50} = 2,5$$

час спрацьовування автоматичного вимикача дорівнює 30 сек. Таким чином, автоматичний вимикач QF3, що має менший час спрацьовування спрацює раніше, тобто умова селективності дії автоматичних вимикачів виконано.

Для перевірки автомата за здатністю відключати розрахуємо струм трифазного короткого замикання за формулою (24) додатку 2:

$$I_{к.з.(3)} = \frac{U_{н.с}}{\sqrt{3}Z_{\phi}}$$

Значення Z_{ϕ} визначаємо за формулою (14) додатку 2

$$Z_{\phi} = \sqrt{(\sum R_{\phi} + R_m)^2 + (\sum X_{\phi} + X_m)^2}$$

Активне і індуктивне опору фази трансформатора живлення визначаємо за формулами (20) та (21)

$$R_m = \frac{CK^2}{S_m}, \quad R_m = \frac{2,5 \cdot 1}{1000} = 0,0025 \text{ Ом}$$

$$X_m = d R_m, \quad X_m = 3 \cdot 0,0025 = 0,0075 \text{ Ом}$$

Тоді

$$Z_{\phi} = \sqrt{(0,84 + 0,0025)^2 + (0,035 + 0,0075)^2} = 0,84 \text{ Ом}$$

$$I_{к.з.(3)} = \frac{380}{1,73 \cdot 0,84} = 260 \text{ А},$$

що набагато менше граничного струму який відключається автоматами (1500а).

Коротке замикання в точці 2

Розрахунок струму короткого замикання в точці 2 проводимо аналогічно.

З раніше виконаного розрахунку

$$R_{\phi AB} = 0,32 \text{ Ом} \quad R_{0AB} = 0,32 \text{ Ом}$$

Визначаємо активні опори фазних і нульових провідників:

$$R_{\phi BD} = \frac{32 \cdot 0,15}{2,5} = 1,92 \text{ Ом} \quad R_{0BD} = \frac{32 \cdot 0,15}{2,5} = 1,92 \text{ Ом}$$

$$R_{0DE} = \frac{32 \cdot 0,05}{2,5} = 0,64 \text{ Ом} \quad R_{0DE} = \frac{32 \cdot 0,05}{2,5} = 0,64 \text{ Ом}$$

$$\Sigma R_{\phi} = 0,32 + 1,92 + 0,64 = 2,88 \text{ Ом}$$

$$\Sigma R_0 = 2,88 \text{ Ом}$$

Тогда

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(2,88 + 2,88)^2 + 0,02} = 5,78 \text{ Ом}$$

струм однофазного короткого замикання буде дорівнювати:

$$I_{к.з.(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 5,78} = 38 \text{ А},$$

Умова необхідної кратності струму короткого замикання за відношенням до номінального струму плавкої вставки запобіжника в даному випадку виконується, оскільки

$$\frac{I_{к.з.(1)}}{I_{н.вст}} = \frac{38}{0,5} > 3$$

7. ПЕРЕВІРКА ВИБРАНИХ ПЕРЕТИНІВ ПРОВІДНИКІВ ЗА ВТРАТОЮ НАПРУГИ

Визначимо втрати напруги у всіх лініях розглянутого прикладу. Схема для розрахунку втрат напруги наведена на рис. 3.

Схема до розрахунку втрат напруги

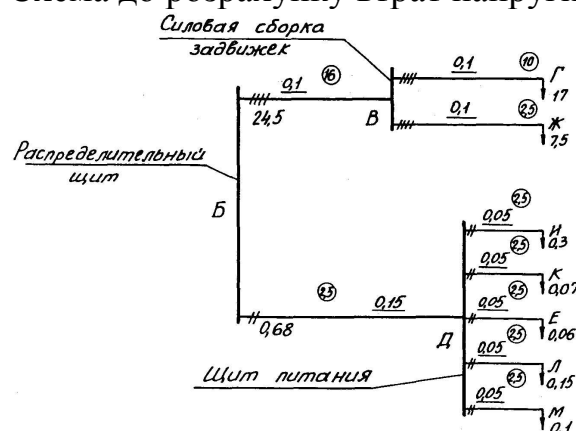


Рис. 3

На схемі вказані навантаження (кВт), довжина ділянок (км) і перетини проводів (мм²), вибрані при розрахунку провідників за довгостроково припустимому струму.

Оскільки споживані потужності окремих приладів, регуляторів, апаратів найчастіше задаються у вигляді повної потужності (ВА), то з метою спрощення розрахунків втрат напруги проведемо за повною потужністю (а не за активною складовою потужності, що впливає з формул (5) і (6) додатка 4). У цьому випадку допускається помилка в бік збільшення втрат напруги. Насправді втрати будуть трохи менше.

Втрати напруги від точки Б до найбільш віддалених точок визначаються підсумовуванням втрат напруги на окремих ділянках.

Визначаємо втрати напруги на ділянках трифазної лінії змінного струму за формулою (5) додатка 4:

$$\Delta U = \frac{100 \sum Pl}{\gamma U_n^2 F}$$

$$\Delta U_{BB} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{24,5 \cdot 0,1}{16} = 3,38\%$$

$$\Delta U_{BG} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{17 \cdot 0,1}{10} = 3,72\%$$

$$\Delta U_{BJ} = \frac{100}{31,7 \cdot 0,38^2} \frac{7,5 \cdot 0,1}{2,5} = 6,55\%$$

Тоді втрата напруги від точки Б до точок Г і Ж складе:

$$\Delta U_{BBG} = \Delta U_{BB} + \Delta U_{BG} = 3,38 + 3,72 = 7,1 \%$$

$$\Delta U_{BBJ} = \Delta U_{BB} + \Delta U_{BJ} = 3,38 + 6,55 = 9,93 \%$$

З огляду на задані режими і короткочасність роботи електроприводів засувки, отримані значення втрат напруги в лініях БГ і БЖ в даному випадку можна вважати допустимими.

Визначаємо втрати напруги на ділянках двофазної двопроводової мережі змінного струму за формулою (7) додатку 4:

$$\Delta U = \frac{200 \sum Pl}{\gamma U_n^2 F}$$

$$\Delta U_{BD} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,68 \cdot 0,15}{2,5} = 5,38\%$$

Втрата напруги на даній ділянці перевершує значення допустимих відхилень напруги на затискачах контрольно-вимірювальних приладів, регулюючих пристроїв і т.д. ($\pm 5\%$).

З огляду на, що лінія БД є головним і що втрати напруги будуть також мати місце і в наступних ділянках мережі ДІ, ДК і т.д., необхідно збільшити раніше вибраний перетин лінії БД с 2,5 мм² до 4 мм².

Тоді

$$\Delta U_{BD} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,68 \cdot 0,15}{4} = 3,34\%$$

$$\Delta U_{DI} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,3 \cdot 0,05}{2,5} = 0,786\%$$

$$\Delta U_{DK} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,07 \cdot 0,05}{2,5} = 0,184\%$$

$$\Delta U_{DE} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,06 \cdot 0,05}{2,5} = 0,157\%$$

$$\Delta U_{DL} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,15 \cdot 0,05}{2,5} = 0,393\%$$

$$\Delta U_{DM} = \frac{200}{31,7 \cdot 0,22^2} \frac{0,1 \cdot 0,05}{2,5} = 0,26\%$$

Втрата напруги від точки Б до точок И, К, Е, Л, М складе:

$$\Delta U_{BDI} = \Delta U_{BD} + \Delta U_{DI} = 3,34 + 0,786 = 4,126 \%$$

$$\Delta U_{BDK} = \Delta U_{BD} + \Delta U_{DK} = 3,34 + 0,184 = 3,524 \%$$

$$\Delta U_{BDE} = \Delta U_{BD} + \Delta U_{DE} = 3,34 + 0,157 = 3,497 \%$$

$$\Delta U_{BDL} = \Delta U_{BD} + \Delta U_{DL} = 3,34 + 0,393 = 3,733 \%$$

$$\Delta U_{BDM} = \Delta U_{BD} + \Delta U_{DM} = 3,34 + 0,26 = 3,6 \%$$

Дані втрат напруги по окремих ділянках мережі зведені в табл. 7

Таблиця 7

Втрати напруги на окремих ділянках мережі, рис.3

Найменування лінії	БВГ	БВЖ	БДИ	БДК	БДЕ	БДЛ	БДМ
Втрата напруги, розрахована за формулами, ΔU , %	7,1	9,93	4,126	3,524	3,497	3,733	3,6

Таким чином, розраховані втрати напруги не перевищують значень допустимих відхилень напруги на затискачах електроприймачів.

У зв'язку з тим, що при розрахунку втрат напруги було збільшено перетин лінії БД до 4 мм², виконаємо повторно розрахунок струму короткого замикання в точці 2.

Визначимо активні опори фазного і нульового провідника на ділянці БД.

$$R_{\phi БД} = \frac{32 \cdot 0,15}{4} = 1,2 \text{ Ом} \quad R_{0БД} = 1,2 \text{ Ом}$$

Користуючись даними розрахунку, викладеними вище в цьому додатку (коротке замикання в точці 2), отримаємо

$$\Sigma R_{\phi} = 0,32 + 1,2 + 0,64 = 2,16 \text{ Ом}$$

$$\Sigma R_0 = 2,16 \text{ Ом}$$

тоді

$$Z_{\phi-0} \approx \sqrt{(2,16 + 2,16)^2 + 0,02} = 4,34 \text{ Ом}$$

Струм однофазного короткого замикання буде дорівнювати:

$$I_{к.з.(1)} = \frac{380}{1,73 \cdot 4,34} = 50,7 \text{ А}$$

Кратність струму короткого замикання за відношенням до номінального струму плавкої вставки запобіжника при збільшенні перерізу лінії БД, як і слід було очікувати, зростає. Захист буде діяти більш надійно.

Рекомендована література

1. Кваско М.З. Проектування систем керування: навч. посібн. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології»/ М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленський – К. : НТУУ «КПІ», 2014. – 342 с.
2. Комп'ютерні методи проектування систем автоматизації: Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студ. спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» / Уклад.: Я.Ю. Жураковський, А.І. Жученко, М.З. Кваско,– К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 118с.
3. Правила устройства электроустановок, шестое издание, Энергоатомиздат, 1985 г.
4. ВСН 205-84/ММСС СССР. Инструкция по проектированию электроустановок систем автоматизации технологических процессов, ЦБНТИ ММСС СССР, 1985 г.
5. Дубровский А.Х. Устройство электрической части систем автоматизации, второе издание, Энергоатомиздат, 1984
6. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие /А.С.Клюев, ред. А.С.Клюева, А.Х.Дубровский, А.А.Клюев; Под. Ред. А.С.Клюева. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
7. РМ4-183-81. Порядок согласования технической документации на изготовление щитов и пультов заводами-изготовителями Минмонтажспецстроя СССР. Приложение 3 "Номенклатура изделий, поставляемых комплектно со щитами и пультами".
8. ОСТ 16.0.526.001-77. Переключатели и выключатели пакетные ПП, ПВ. Технологические условия.

9. УС0.360.049ТУ. Переключатели ТВ1, ТВ2, ТП1 типа "Тумблер".
Технические условия.
- 10.ВТ0.360.002ТУ Переключатели двуполюсные П2Т. Технологические условия.
- 11.ТУ 16-522.110-74. Выключатели автоматические серии А63
- 12.ТУ 16-522.066-75. Выключатели автоматические серии АП50.
- 13.АГ0.481.301ТУ. Держатели вставок плавкие ДВП4.
- 14.АГ0.481.304ТУ. Вставки плавкие ВП2Б, ВП3Б
- 15.ТУ 16-522.091-72. Предохранители типа ПР-2. Технические условия.