

Міністерство освіти і науки України
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПРОГРАМА ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

з дисципліни:

„Експлуатація електричних та електронних апаратів”

для студентів **заочної** форми навчання спеціальності

141 – Електроенергетика електротехніка та електромеханіка

(освітня програма: «Електричні та електронні апарати»)

Програма та контрольні завдання з дисципліни: „Експлуатація електричних та електронних апаратів” для студентів заочної форми навчання спеціальності 141 – Електроенергетика електротехніка та електромеханіка (освітня програма: «Електричні та електронні апарати») / Укл.: О.В. Близняков. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019 – 34 с.

Укладач: Близняков Олександр Вікторович, доцент, к.т.н.

Рецензент: Андрієнко Петро Дмитрович, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: Р.Е. Мохнач

Затверджено на засіданні кафедри
“Електричні та електронні апарати”.
Протокол №7 від 26 грудня 2018 р.

Рекомендовано до видання
НМК електротехнічного факультету.
Протокол №6 від 24 січня 2019 р.

З М І С Т

1. Мета та задачі дисципліни.....	4
2. Програма дисципліни	5
2.1 Організація, загальні методи та форми технічної експлуатації ЕЕА	5
2.2 Електричні системи та електроустановки низької та високої напруги	5
2.3 Підстанції та розподільні пристрої.....	5
2.4 Пристрої релейного захисту та автоматики	5
2.5 Комутаційні процеси в електричних системах	6
2.6 Вибір ЕА для промислових електроустановок	6
3. Контрольна робота.....	7
3.1 Задача 1. Вибір високовольтного вимикача.....	7
3.2 Задача 2. Вибір низьковольтного комутаційного апарата	9
4. Методика вибору електричних апаратів	10
4.1 Загальні питання вибору апаратів	10
4.2 Вибір високовольтних вимикачів	13
4.3 Вибір низьковольтних апаратів керування	14
4.4 Вибір низьковольтних апаратів комутації та захисту	16
5. Приклади вибору електричних апаратів.....	20
5.1 Приклад вибору високовольтного вимикача	20
5.2 Приклад вибору низьковольтного апарату керування	24
5.3 Приклад вибору низьковольтного апарата комутації та захисту	26
Література.....	30
Додаток А. Вихідні дані для контрольної роботи.....	32

1. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДИСЦИПЛІНИ

Переважає більшість дисциплін, що вивчається студентами на кафедрі, розглядає фізичні явища, що відбуваються в електричних та електронних апаратах (ЕЕА), конструкції апаратів, методики розрахунку окремих їх елементів, проектуванню апаратів в цілому. Але практика свідчить, що лише незначна частина випускників зайняті розробкою нових апаратів та пристроїв. Переважає ж більшість фахівців з електроенергетики, електротехніки та електромеханіків в своїй трудовій діяльності стикається з необхідністю використання ЕЕА, які виробляються вітчизняною промисловістю, а також провідними іноземними виробниками. При цьому на перший план постають питання кваліфікованого їх вибору, оскільки сучасний світовий ринок електрообладнання, зокрема ЕЕА, є дуже насиченим та навіть перенасиченим. Такім чином, основною метою цієї дисципліни є ліквідувати, у певній мірі, цей недолік та познайомити студентів з умовами експлуатації ЕЕА в реальних електроустановках, а також методикою їх вибору.

Основними задачами дисципліни є: вивчення систем електропостачання промислових підприємств, режимів роботи електрообладнання; методів аналізу перехідних процесів в електричних системах при виникненні аварійних ситуацій, умови роботи ЕЕА та їх правильного вибору. В результаті вивчення дисципліни студент повинен

з н а т и :

- загальні відомості про електричні системи; основні схемні та конструктивні рішення підстанцій та розподільних пристроїв; основні принципи побудови пристроїв автоматики та релейного захисту в електричних системах;
- методи аналізу та розрахунку перехідних процесів при коротких замиканнях та їх вимиканні; перехідні процеси в інших випадках;
- умови роботи ЕЕА комутації та захисту в різноманітних електроустановках, а також методика їх вибору;

в м і т и :

- розраховувати параметри струму короткого замикання та перехідної поновлюваної напруги при вимиканні короткого замикання та інших умовах;
- обирати електричні та електронні апарати комутації та захисту для різноманітних електроустановок.

2. ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Організація, загальні методи та форми технічної експлуатації ЕЕА

Експлуатація ЕЕА: поняття, основні задачі, зміст. Ремонт ЕЕА в електроустановках: система планово-попереджувальних ремонтів, профілактичні випробування. Діагностування ЕЕА: поняття, мета та задачі. Розробка систем діагностування ЕЕА. Загальні методи пошуку несправностей в ЕЕА.

Література: [10,15,16,17].

2.2 Електричні системи та електроустановки низької та високої напруги

Структура та параметри електричних систем та електроустановок. Якість електроенергії в електричних системах та її головні показники. Робоче заземлення електроустановок: сутність, різновиди та їх стисла характеристика. Електричні станції: режими навантаження, основні елементи електричної частини. Характеристика приймачів електричної енергії.

Література: [10,11,16,18,].

2.3 Підстанції та розподільні пристрої

Загальні відомості про підстанції та розподільні пристрої та їх класифікація. Конструкції розподільних пристроїв та вимоги до них у відношенні надійності, безпеки та економічності. Електричні схеми головних кіл розподільних пристроїв. Комплектні розподільні пристрої (КРП). Переваги розподільних пристроїв, що складаються з комірків КРП. Конструкції та схеми КРП 6–10 кВ вітчизняного та закордонного виробництва. Допоміжні кола розподільних пристроїв, їх основні функції, елементна база. Комплектні струмопроводи. Комплектні трансформаторні підстанції.

Література: [6–9,11,13,14,16,18].

2.4 Пристрої релейного захисту та автоматики

Загальні відомості про пристрої релейного захисту та автоматики. Їх основні елементи та їх призначення, поняття селективності захисту. Характеристика ушкоджень, що виникають в електричних системах. Пристрої релейного захисту: струмові захисти; струмові направлені захисти; дистанційні захисти; захисти напруги; захисти з абсолютною селективністю (диференційні захисти). Пристрої автоматичного керування: автоматичного частотного розвантаження, автоматичного вми-

кання резерву, автоматичного повторного вмикання. Пристрої автоматичного регулювання: автоматичні регулятори збудження генераторів, автоматичні регулятори напруги, автоматичні синхронізатори.

Література: [2,11,18].

2.5 Комутаційні процеси в електричних системах

Основні різновиди комутаційних явищ в електричних системах. Перехідний процес при короткому замиканні (к.з.), складові струму к.з. та основні його параметри. Основні припущення, послідовність та методи розрахунку струмів к.з. у високовольтних та низьковольтних системах. Перехідний процес при вимиканні електричних кіл постійного та змінного струму. Загальна характеристика та параметри процесу поновлення напруги. Поняття дійсної та власної перехідної поновлюваної напруги. Окремі випадки поновлення напруги в реальних електричних системах: к.з. за трансформатором у трифазній системі (одночастотний та двочастотний процес поновлення напруги); поновлення напруги при к.з. в лінії, невіддалене к.з. Методи визначення параметрів перехідної поновлюваної напруги в реальних електричних системах. Вимикання ненавантажених ліній та трансформаторів.

Література: [1,3,4,5,11,12,13,18].

2.6 Вибір ЕА для промислових електроустановок

Основні вимоги до ЕА, режими та умови їх роботи в реальних електроустановках. Загальні фактори, які враховуються в процесі вибору ЕА. Призначення та область використання високовольтних вимикачів. Вибір високовольтних вимикачів за номінальними параметрами і умовами роботи в аварійних ситуаціях. Призначення та область використання апаратів керування низької напруги. Вибір апаратів керування низької напруги (контакторів та магнітних пускачів). Призначення та область використання апаратів комутації та захисту низької напруги. Вибір апаратів комутації та захисту низької напруги (автоматичних вимикачів та запобіжників).

Література: [6,9,11,13,14,19,20].

3. КОНТРОЛЬНА РОБОТА

У відповідності до навчального плану в процесі вивчення дисципліни передбачається виконання студентами контрольної роботи, яка містить у собі дві задачі. Вихідні дані до задач вибираються по останнім двом цифрам індивідуального шифру студента. Контрольна робота виконується в окремому зошиті, при цьому, рішення задач повинно супроводжуватись схемами, рисунками, формулами з розкриттям величин, що входять до неї, а також конкретними розрахунками з підстановкою чисельних значень і з відповідними поясненнями. Виконана контрольна робота представляється викладачу на рецензію. При негативній рецензії необхідно урахувати всі зауваження рецензента і в тому ж зошиті внести відповідні корективи. Причому, зробити це потрібно після підпису рецензента, а не виправляти саму контрольну роботу.

3.1 Задача 1. Вибір високовольтного вимикача

Здійснити вибір високовольтного вимикача (у відповідності до табл. 3.1) для ділянки електричної системи. Її схема та дані електричного обладнання надані у додатку (рис. А.1, табл. А.1).

Таблиця 3.1 – Електричний апарат, що обирається до задачі 1

Остання цифра індивід. шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Позначення апарата	Q10	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9

Вирішення задачі 1 рекомендується здійснювати у такій послідовності:

а) за паспортними даними електрообладнання визначити струм навантаження електроустановки, який в залежності від місця розташування вимикача дорівнює або:

1) номінальному струму струмообмежувального реактора;

2) номінальному струму силового трансформатора, який визначається за його повною потужністю: $S_{\text{н}} = \sqrt{3}U_{\text{н}}I_{\text{н}}$;

3) номінальному струму двигуна, який також визначається за його потужністю: $P_{\text{н}} = \sqrt{3}U_{\text{н}}I_{\text{н}}\eta\cos\varphi$.

б) за величинами струму навантаження і номінальної напруги здійснити вибір вимикача та надати його основні параметри.

в) здійснити перевірку обраного вимикача щодо його працездатності при протіканні крізного струму короткого замикання. Для цього необхідно:

1) розрахувати параметри струму короткого замикання для відповідної точки де розташований вимикач; для цього необхідно:

- скласти схему заміщення, враховуючі реактивний опір елементів, що вона містить: генераторів, силових трансформаторів, ліній електропередач, струмообмежувальних реакторів тощо;

- розрахувати реактивні опори елементів, що складають схему заміщення;

- привести МРС генераторів та опори елементів до базової ступені, в якості якої рекомендується обирати ту, відносно якої визначаються параметри струму к.з.;

- визначити еквівалентну МРС схеми;

- провести еквівалентні перетворення схеми заміщення та розрахувати параметри струму к.з.: початкове діюче значення періодичної складової $I_{по}$ та ударне значення $i_{уд}$.

2) зробити висновок щодо працездатності обраного вимикача при протіканні крізного струму короткого замикання.

г) здійснити перевірку комутаційної спроможності обраного вимикача. Для цього необхідно:

1) визначити діюче значення періодичної складової в момент початку розмикання контактів вимикача $I_{нт}$ (час спрацьовування захисту прийняти таким, що дорівнює 0,07 с);

2) розрахувати параметри перехідної поновлюваної напруги відносно контактів вимикача для відповідної точки; для цього необхідно:

- розрахувати фазові індуктивності елементів контуру: генератора, трансформатора, струмообмежувального реактора, якщо вони присутні; необхідно врахувати, що індуктивності елементів при високій частоті поновлення напруги відрізняються від індуктивностей, розрахованих при промисловій частоті; її можна прийняти такою, що приблизно на 30–35% менше, тобто $L = (0,65 - 0,7)L_{ф}$;

- розрахувати фазову приведену ємність контуру, яка у більшості випадків визначається як сума:

$$C = C_0 + \frac{C_{тр}}{2},$$

де C_0 – сумарна приведена ємність електричного обладнання, підключеного до шин розподільного пристрою, яка в реальних умовах може складати від 2000 до 10000 пФ;

$C_{тр}$ – фазова індуктивність трансформатора, яка може бути визначена за емпіричною формулою Хамарлунда [12]:

$$C_{\phi} = 70 \cdot \frac{S^{0,35}}{U_n^{0,175}}; \frac{\text{пФ}}{\text{фаза}},$$

де S_n – повна потужність трансформатора, кВА;

U_n – номінальна напруга обмотки трансформатора, кВ;

- на підставі розрахованих параметрів контуру визначити характер та розрахувати параметри перехідної поновлюваної напруги: амплітуду та середню швидкість її зростання;

3) порівняти розраховані параметри перехідної поновлюваної напруги з нормованими та зробити висновок щодо забезпечення обраним вимикачем надійного вимикання струму короткого замикання; при необхідності вибрати інший вимикач.

3.2 Задача 2. Вибір низьковольтного комутаційного апарата

Здійснити вибір низьковольтного комутаційного апарата (апарата керування або комутації та захисту у відповідності до табл. 3.2) для тієї ж ділянки електричної системи. Її схема та дані електрообладнання надані у додатку (рис. А1.1, табл. А1.1).

Таблиця 3.1 – Електричний апарат, що обирається до задачі 2

Остання цифра індивідуального шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Позначення апарата у схемі	SF1	SF2	SF3	FU	KM1	KM2	SF1	SF2	SF3	FU

Вирішення задачі 2 рекомендується здійснювати у такій послідовності:

а) за паспортними даними електрообладнання визначити струм навантаження електроустановки, який в залежності від місця розташування вимикача дорівнює або:

1) номінальному струму силового трансформатора, який визначається за його повною потужністю: $S_n = \sqrt{3}U_n I_n$;

2) номінальному струму двигуна, який також визначається за його потужністю: $P_n = \sqrt{3}U_n I_n \eta \cos \phi$.

б) за величинами струму навантаження і номінальної напруги здійснити вибір комутаційного апарата та надати його основні параметри.

в) якщо потрібно визначити параметри струму короткого замикання для відповідної точки де розташований комутаційний апарат. Методика його розрахунку аналогічна, але при цьому необхідно врахувати також активний опір окремих елементів: перехідний контактний опір в ошиновці та комутаційних апаратів.

г) якщо потрібно визначити ударне та сталє значення пускового струму двигуна.

д) здійснити перевірку обраного комутаційного апарата з умов його працездатності при перевантаженні та короткому замиканні:

1) за стійкістю при протіканні крізного струму короткого замикання;

2) за комутаційною спроможністю.

4. МЕТОДИКА ВИБОРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

4.1 Загальні питання вибору апаратів

Електричні апарати комутації та захисту в експлуатації можуть знаходитись в одному з трьох режимів: тривалому при номінальному навантаженні, режимі короткого замикання та перевантаження (після аварійному).

У тривалому режимі надійна робота апаратів комутації та захисту забезпечується правильним їх вибором за номінальним струмом та номінальною (найбільшою робочою) напругою. **В режимі перевантаження** (після аварійному) – забезпечується обмеження найбільших значень та тривалості підвищення струму і напруги в межах, які гарантують нормальну їх роботу за рахунок запасу міцності. **В режимі к.з.** надійна робота апаратів забезпечується відповідністю їх параметрів умовам стійкості при проходженні крізних струмів к.з., а для захисних апаратів ще й умові комутаційної спроможності. Таким чином, при виборі ЕА комутації та захисту враховуються наступні параметри та умови

Призначення та область використання. Електричні апарати комутації та захисту, що виробляються промисловістю, мають широку область використання і, відповідно, широку номенклатуру. При цьому конкретні їх типи підчас призначені для комутації та захисту певних об'єктів. Тому вибір

апаратів необхідно починати зі знайомства з нормативно-технічною та експлуатаційною документацією на певні типи апаратів.

Номинальні значення струму та напруги. Вибір апаратів в даному випадку здійснюється у відповідності до таких умов:

$$I_n \geq I_{н.е/у} \text{ та } U_n \geq U_{н.е/у},$$

де I_n , U_n – номінальний струм та номінальна напруга апарата, відповідно;

$I_{н.е/у}$, $U_{н.е/у}$ – струм навантаження і номінальна напруга даної електроустановки, відповідно.

Характер навантаження. Визначається так званою *категорією використання*. Відповідно до ДСТУ 3020-95, для низьковольтних комутаційних апаратів основними категоріями використання є наступні: АС-1, АС-2, АС-3 и АС-4 (змінного струму); ДС-1...ДС-5 (постійного струму), кожній з яких відповідає певному характеру навантаження, що комутується (активне, малоіндуктивне, індуктивне і т.д.) або конкретним споживачам електроенергії (печі опору, асинхронні двигуни і т.д.).

Механічна та комутаційна зносостійкість. Для забезпечення потрібного механічного ресурсу $N_{\text{потр}}$ упродовж всього терміну служби необхідно виконання наступного співвідношення:

$$N_{\text{мех}} > N_{\text{потр}},$$

де $N_{\text{мех}}$ – механічна зносостійкість апарата.

При цьому потрібний механічний ресурс може бути визначений на підставі апріорної інформації про частоту комутацій Z та потрібний термін служби T :

$$N_{\text{потр}} = Z \cdot T.$$

Аналогічною є умова забезпечення комутаційного ресурсу апарата з тою лише різницею, що оцінка потрібного комутаційного ресурсу здійснюється не на весь термін служби апарата, а на період до зміни його головних контактів.

Стійкість при проходженні наскрізних струмів к.з. Апарат у включеному положенні повинен витримувати електродинамічну та термічну дію наскрізного струму к.з. Така вимога ставиться практично до всіх апаратів комутації та захисту. *Електродинамічна стійкість* апарата буде забезпечена при дотриманні такого співвідношення:

$$i_{е/д.ст} > \sqrt{2} \cdot \kappa_{уд} I_{п0},$$

де $i_{е/д.ст}$ – струм електродинамічної стійкості апарата;

$k_{уд}$ – ударний коефіцієнт для даної точки електричної системи;

$I_{п0}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму к.з.

Термічна стійкість апарата забезпечується, якщо $I_{т.ст} > I_{п0}$ за умови, що час проходження струму к.з. не перевищує допустимого значення. Якщо така умова не виконується термічна стійкість оцінюється за тепловою дією струму к.з., при цьому повинна виконуватись наступна умова:

$$I_{т.ст}^2 t_{доп} > I_{п0}^2 t_{кз},$$

де $I_{т.ст}$ – струм термічної стійкості апарата;

$t_{доп}$ – допустимий час проходження струму термічної стійкості;

$t_{кз}$ – час проходження струму к.з.

Кількість та виконання головних та допоміжних контактів.

Промисловістю виробляються апарати комутації та захисту з двома типами головних та допоміжних контактів: контактами, що замикаються та контакти, що розмикаються. Кількість тих чи інших визначається конкретною схемою, до якої підключається даний апарат.

Гранична комутаційна спроможність. Комутаційний апарат повинен забезпечувати надійне вмикання та вимикання кола при передбачених для нього режимах роботи. Методика оцінки працездатності в даному випадку визначається конкретним призначенням апарата та умовами його експлуатації (див. наступні підрозділи).

Кліматичне виконання та категорія розміщення. Апарати, що виробляються промисловістю мають 10 типів кліматичного виконання, які відрізняються температурою повітря, його відносною вологістю, наявністю завислих частинок пилу, інтенсивністю сонячного випромінювання, наявністю соляної мряки та ін. Основними кліматичними зонами є: зона помірного клімату, тропічного клімату, холодного клімату, морського клімату. Тип кліматичного виконання визначається сполученням вище перелічених параметрів атмосфери.

Категорія розміщення визначає особливості зовнішніх умов експлуатації апарата. Основними категоріями розміщення є: **1** – на відкритому повітрі; **2** – під навісом або приміщення, де коливання температури та вологості повітря несуттєво відрізняються від зовнішньої атмосфери, тобто мається порівняно вільний доступ зовнішнього повітря; **3** – у закритих приміщеннях з природною вентиляцією (неопалювані приміщення), де коливання температури та вологості повітря менше,

ніж зовнішнього повітря; 4 – приміщення з штучним регулюванням кліматичних умов (опалювані приміщення); 5 – приміщення з підвищеною вологістю (неопалювані та невентильовані підземні приміщення, в тому числі шахти, підвали, у ґрунті і т.д.).

При виборі апаратів комутації та захисту враховується також ряд інших факторів, які визначаються їх функціональним призначенням. В наступних підрозділах розглядається особливості вибору окремих груп апаратів комутації та захисту.

4.2 Вибір високовольтних вимикачів

Високовольтний вимикач є основним апаратом комутації та захисту від якого залежить безперебійність та надійність електропостачання. Вибір високовольтного вимикача здійснюється за:

- призначенням та області використання;
- номінальними значеннями струму та напруги;
- механічної та комутаційної зносостійкості;
- кількістю та виконанням головних та допоміжних контактів;
- кліматичним виконанням та категорією розміщення.

Обраний вимикач перевіряється за:

- стійкістю до проходження кризових струмів к.з.;
- комутаційною спроможністю.

Призначення та область використання. В розподільних пристроях високої напруги 110 кВ та вище знайшли використання, головним чином, повітряні та елегазові вимикачі. Причому, спостерігається явна тенденція до витіснення повітряних вимикачів елегазовими, які, по оцінкам провідних фахівців, у найближчий час повинні зайняти домінуючі позиції при напрузі 220 кВ та вище. В електричних мережах середньої напруги (до 35 кВ, струми, що вимикаються до 70 кА) в нинішній час використовуються вимикачі різних видів: маломасляні, електромагнітні, елегазові, вакуумні. Але слід зазначити, що приблизно 80% світового ринку вимикачів середньої напруги формується за рахунок вакуумних вимикачів і 20% за рахунок елегазових (головним чином при напрузі 35 кВ) і лише 1–2% ринку займають маломасляні вимикачі.

Перевірка комутаційної спроможності високовольтних вимикачів здійснюється з умов забезпечення надійного вмикання струму к.з., а також надійного вмикання на існуюче к.з., які гарантуються при таких умовах:

- напруга у мережі не перевищує номінальної (найбільшої робочої) напруги вимикача;
- струм к.з., що вмикається не перевищує номінальний струм вмикання вимикача $I_{o,ном} > I_{пт}$, де $I_{пт}$ – діюче значення періодичної складової струму к.з. в момент початку розмикання контактів вимикача;
- струм к.з., що вмикається не перевищує номінальний струм вмикання вимикача $I_{в,ном} > I_{п0}$, де $I_{п0}$ – початкове діюче значення періодичної складової струму к.з.;
- склад аперіодичної складової не перевищує нормованого значення $\beta = \frac{i_a}{\sqrt{2} \cdot I_{п0}} < \beta_n$, де i_a – величина аперіодичної складової струму

к.з. в момент початку розмикання контактів вимикача; β_n – нормоване значення аперіодичної складової струму к.з., яке визначається за нормованою кривою в залежності від сумарного часу спрацьовування захисту (у більшості випадків приймається таким, що дорівнює порядку 0,01 с) і власного часу спрацьовування вимикача (визначається за паспортними даними);

- параметри власної перехідної поновлюваної напруги не перевищують нормовані; які визначаються відповідними нормованими обвідними кривими і лініями запізнення; вимикач гарантує надійне вмикання струму к.з. тільки у тому випадку, якщо крива власного поновлення напруги відносно даної точки електричної системи не перетинає нормовану обвідну криву і лише один раз перетинає лінію запізнення [1,6,13,14,19,20];

- комутаційні цикли відповідають регламентованим: для вимикачів, що призначені для роботи з пристроями АПВ такими циклами є:

- цикл 1: **О – $t_{б/с}$ – ВО – 180 с – ВО** або

- цикл 1а: **О – $t_{б/с}$ – ВО – 20 с – ВО**

для вимикачів, що не призначені для АПВ таким циклом є

- цикл 2: **О – 180 с – ВО – 180 с – ВО,**

де О – операція вмикання; ВО – операція вмикаання на існуюче коротке замикання та негайного його вимикання; $t_{б/с}$ – безструмова пауза; 180 с (20 с) інтервал часу в секундах.

4.3 Вибір низьковольтних апаратів керування

Розглянемо вибір найбільш складних і найбільш поширених ЕА

керування – контакторів та магнітних пускачів. Контактори та магнітні пускачі, що виробляються промисловістю, мають дуже широку номенклатуру і дуже широко розповсюджені в електроустановках. Контактори (магнітні пускачі) вибираються:

- за призначенням та областю використання;
- за номінальними значеннями струму та напруги;
- за механічною та комутаційною зносостійкістю;
- за характером навантаження, що комутується (категорією використання);
- за параметрами кола керування;
- за кількістю та виконанню головних та допоміжних контактів;
- за режимом роботи;
- за кліматичним виконанням та категорією розміщення;

а потім перевіряються за комутаційною спроможністю.

Призначення та область використання. Див. підрозділ 4.1.

Параметри кола керування. Вони вказуються в технічних умовах на контактор і необхідні, головним чином, для вибору комутаційної апаратури кіл керування (реле та ін.) і джерела живлення.

Режим роботи апарата визначається, головним чином, режимом роботи об'єкта, для комутації якого призначений даний контактор (магнітний пускач).

Перевірка комутаційної спроможності обраного контактора (магнітного пускача) здійснюється відносно двох режимів комутації: *режим нормальних комутацій*, який визначається відносно комутації струмів навантаження з частотою комутацій, яка відповідає певному класу і *режим рідких комутацій*, який визначається відносно поодиноких комутацій струмів перевантаження.

Для кожного режиму комутації ДСТУ2846-94 визначені допустимі параметри кола, що комутується, по відношенню до номінальних робочих значень струму та напруги контактора:

U_0 – максимально допустима величина зворотної напруги;

I_0 – максимально допустима величина струму, що комутується;

$\cos \varphi_0(\tau_0)$ – допустима реактивність кола, що комутується.

Для режиму нормальних комутацій працездатність визначається за комутаційною зносостійкістю, яка буде гарантована при дотриманні таких умов:

$$U_0 > U_{\text{к.к.}}; I_0 > I_{\text{к.к.}}; \cos \varphi_0 < \cos \varphi_{\text{к.к.}} (\tau_0 < \tau_{\text{к.к.}}),$$

де $U_{к.к.}$ – зворотна напруга кола, що комутується, за частих комутаціях струму навантаження;

$I_{к.к.}$ – величина струму навантаження, що часто комутується;

$\cos\varphi_{к.к.}(\tau_{к.к.})$ – коефіцієнт потужності (електромагнітна постійна часу) кола, що комутується за частих комутаціях струму навантаження;

Для режиму рідких комутацій працездатність визначається за граничною комутаційною спроможністю, яка буде гарантована при дотриманні аналогічних умов, з тою лише різницею, що U_0 , I_0 та $\cos\varphi_0(\tau_0)$ визначені для режиму рідких комутацій, а $U_{к.к.}$, $I_{к.к.}$ та $\cos\varphi_{к.к.}(\tau_{к.к.})$ є параметрами кола, що комутується, при максимально можливому перевантаженні.

Вибір та необхідні перевірки працездатності контакторів (магнітних пускачів) за іншими умовами надані у підрозділі 4.1.

4.4 Вибір низьковольтних апаратів комутації та захисту

До низьковольтних ЕА комутації та захисту належать автоматичні вимикачі та запобіжники. Автоматичні вимикачі, крім того, використовуються для нечастих оперативних комутацій: наприклад, для нечастих пусків асинхронних двигунів.

Вибір автоматичних вимикачів та запобіжників здійснюється за такими параметрами та критеріями:

- за характером об'єкту, що захищається;
- за номінальними значеннями струму та напруги;
- за механічною та комутаційною зносостійкістю;
- за категорією використання;
- за параметрами кола керування;
- за кількістю та виконанням головних та допоміжних контактів;
- за швидкодією;
- за кліматичним виконанням та категорією розміщення.

Обраний вимикач (запобіжник) перевіряється:

- за захисною характеристикою;
- за стійкістю при проходженні крізного струму к.з.;
- за комутаційною спроможністю;
- за умовою селективності.

Вибір за характером об'єкту, захищається. У даному випадку, головним чином, вирішується питання про використання того чи іншого апарату.

Автоматичні вимикачі використовуються у відповідальних елек-

троустановках, де неприйнятні перерви в електропостачанні. Автоматичні вимикачі досить часто працюють у сполученні з пристроями АПВ. Автоматичним вимикачам віддається перевага там, де поряд з захисними функціями необхідні оперативні комутації: наприклад, в установках з малою частотою комутацій для пуску асинхронних двигунів досить часто замість магнітних пускачів з запобіжниками використовують автоматичні вимикачі. Автоматичні вимикачі незамінні також в тих випадках, коли для об'єкту, що захищається, неприпустимим є однофазний режим роботи.

Основними недоліками автоматичних вимикачів є порівняно висока вартість та великі габарити електроустановки; відносно невисока надійність з-за наявності рухомих частин і від того, що контакти автоматів часто зазнають прямої дії атмосфери та агресивних середовищ; великі експлуатаційні витрати; висока кваліфікація обслуговуючого персоналу. Тому більш широке розповсюдження в електроустановках набули плавкі запобіжники.

Плавкі запобіжники забезпечують надійний захист електрообладнання в аварійних режимах, мають низьку вартість та малі габарити, дозволяють використовувати обслуговуючий персонал низької кваліфікації. Надійна робота запобіжників забезпечується, поперед за все, відсутністю рухомих частин, вони забезпечують надійну роботу у зовнішніх електроустановках в умовах відкритої атмосфери і хімічно агресивного середовища, які виводять зі строю автоматичні вимикачі зі складною кінематикою. Недоліками запобіжників є, поперед за все, необхідність зміни плавких вставок після спрацьовування, для чого необхідно мати запас повністю взаємозамінних за конструктивними і електричними параметрами плавких вставок, які повинні підлягати калібруванню, а також неможливість здійснювати оперативні комутації.

Апарати комутації та захисту повинні вимикатись при аварійному перевантаженні і не повинні вимикатись при передбачених технологічних перевантаженнях. Перевірка цих умов здійснюється за т.з. *захисною характеристикою*, яка представляє собою залежність власного часу спрацьовування апарата від кратності струму перевантаження I_p/I_n . Типова захисна характеристика автоматичного вимикача, рис. 4.1, в загальному випадку має дві ступені: **1** – максимально-струмовий зі зворотно-залежною від струму витримкою часу; **2** – максимально-струмовий без витримки часу (струмова відсічка).

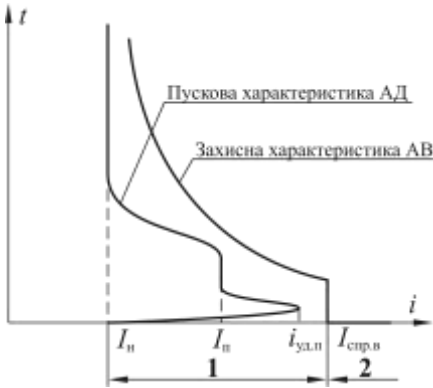


Рисунок 4.1 – Часо-струмові характеристики асинхронного двигуна та автомата

Характерним прикладом технологічного перевантаження є пуск асинхронного двигуна. Для успішного пуску асинхронного двигуна необхідно, щоб його пускова характеристика проходила нижче захисної характеристики автомата, тобто відсічка та максимальний захист повинні бути відлаштовані від пускових струмів двигуна. Для цього необхідно виконання наступної умови:

$$n_{уд.п} = \sqrt{2} \kappa_{уд} n_{п} < n_{спр.в} \text{ (див. рис. 4.1)}$$

за умови: $I_{н.АВ} = I_{н.АД}$. Якщо ця нерівність не виконується, порівнювати треба абсолютні значення струмів:

$$i_{уд.п} = \sqrt{2} \kappa_{уд} I_{п} < I_{н.АВ} n_{спр.в},$$

де $i_{уд.п}$, $n_{уд.п}$ – відповідно величина та кратність ударного пускового струму двигуна;

$\kappa_{уд}$ – ударний коефіцієнт;

$I_{п}$, $n_{п}$ – відповідно величина та кратність пускового струму двигуна;

$I_{н.АВ}$, $n_{спр.в}$ – відповідно номінальний струм та кратність спрацьовування відсічки автоматичного вимикача.

Для забезпечення надійного захисту об'єкта необхідно, щоб захисна характеристика автомата або запобіжника проходила нижче характеристики захищаного об'єкта. Причому, з одного боку, обидві характеристики повинні бути розташовані близько одна до одної, а з іншого, характеристика захищаного об'єкта повинна бути отримана при умові, що температура найбільш слабкої її ланки близька до межево допустимої.

Вибір за швидкодією. Швидкодія автоматичних вимикачів (запобіжників) оцінюється власним часом спрацьовування. За швидкодією розрізняють дві групи апаратів комутації та захисту: загальнопромислового використання та швидкодіючі.

Власний час спрацьовування апаратів загальнопромислового використання лежить у межах від 10 до 100 мс. В таких апаратах не приймають заходів з підвищення їх швидкодії, вони використовуються для захисту переважної більшості об'єктів електроустановок;

Власний час спрацьовування швидкодіючих апаратів складає менш 5 мс. В таких апаратах приймають конструктивні заходи по підвищенню швидкодії, вони використовуються, головним чином, для захисту напівпровідникових приладів та пристроїв. При виникненні струму к.з. контакти швидкодіючого автомата починають розмикатись (плавлення плавкої вставки запобіжника відповідно закінчується) значно раніше, ніж струм к.з. досягає сталого значення; таким чином, в коло к.з. втілюється відносно великий опір електричної дуги, що спричиняє значне зменшення величини струму к.з. у порівнянні з відсутністю дуги; таким чином, швидкодіючі апарати мають властивість обмежувати величину струму к.з. (струмообмеженням) і струми, що вимикаються швидкодіючими апаратами значно менше, з-за чого суттєво знижується електродинамічна та термічна дія струму к.з.

Межова комутаційна спроможність, як і у високовольтних вимикачів, визначає спроможність автомата (запобіжника) надійно вимикати струми к.з. Методи розрахунку струмів к.з. розглянуті в [5,11], які, однак, не враховують опір місця к.з., але, як показує практика, реальні струми к.з. в мережах низької напруги складають 50–90% від розрахованих. Тому більшість фахівців вважають, що струми к.з. більше 100 кА не можуть з'явитись. При цьому не можна скидати з рахунків можливість виникнення глухого металічного к.з. з-за неправильного підключення струмоведучих частин. Тому при обранні автоматичних вимикачів (запобіжників) рекомендується: при розрахунковому значенні $I_{п0} < 20$ кА не враховувати опір місця к.з., при розрахунковому значенні $I_{п0} = 20 - 80$ кА знижувати її величину на 20–25%. Гранична комутаційна спроможність автомата (запобіжника) буде гарантована при дотриманні такої умови: $I_{о,ном} > I_{п0}$, де $I_{о,ном}$ – номінальний струм вимикання автомата (запобіжника).

Швидкодіючі апарати комутації та захисту з точки зору межової комутаційної спроможності характеризуються двома параметрами:

- *струмом, що пропускається* – максимальне миттєве значення струму к.з., яке проходить через апарат при його вимиканні;
- *межовою комутаційною спроможністю* – діюче значення ста-

лого очікуваного струму к.з., тобто без урахування струмообмежувального ефекту, що спричиняє апарат.

Захисні властивості швидкодіючих апаратів характеризуються також повним джоулевым інтегралом, який являє собою інтеграл квадрату струму к.з. за повний час спрацьовування апарата $t_{\text{спр}}$ з урахуванням його струмообмежувального ефекту:

$$W = \int_0^{t_{\text{спр}}} i^2 dt.$$

Умова, за якої апарат забезпечує надійний захист напівпровідникового приладу має такий вигляд:

$$W_{\text{Дж.СПП}} > W_{\text{Дж.А}},$$

де $W_{\text{Дж.СПП}}$ – допустимий джоулевий інтеграл силового напівпровідникового приладу.

Вибір та необхідні перевірки працездатності автоматичних вимикачів та запобіжників з інших умов надані у підрозділі 4.1.

5. ПРИКЛАДИ ВИБОРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ

5.1 Приклад вибору високовольтного вимикача

Як приклад, розглянемо вибір високовольтного вимикача Q_{10} для схеми, що надана у додатку на рис. А.1. Основними параметрами для його вибору є:

- номінальна напруга електроустановки, яка складає 10 кВ (див. рис. А.1);
- максимальний тривалий струм навантаження електроустановки, який у даному випадку буде відповідати номінальному струму струмообмежувального реактора LR1, який відповідно до завдання складає 1000 А.

За цими параметрами обирається вакуумний вимикач ВВЭ-10-20/1000УЗ. Основними параметрами обраного вимикача є:

- номінальна напруга – 10 кВ;
- номінальний струм – 1000 А;
- номінальний струм вимикання – 20 кА;
- номінальний струм вмикання – 20 кА;
- граничний наскрізний струм: амплітудне значення – 52 кА; початкове діюче значення періодичної складової – 20 кА;

- допустимий час термічної стійкості – 3 с;
- власний час вимикання – 55 мс.

Обраний вимикач повинен бути перевірений за умов працездатності в аварійних ситуаціях. Для цього потрібно визначити параметри струму к.з. та перехідної поновлюваної напруги.

Для визначення струму к.з. обирається точка к.з., яка є найнебезпечнішою для даного вимикача (точка А, див. рис. А.1), відносно якої складається схема заміщення, рис. 5.1.

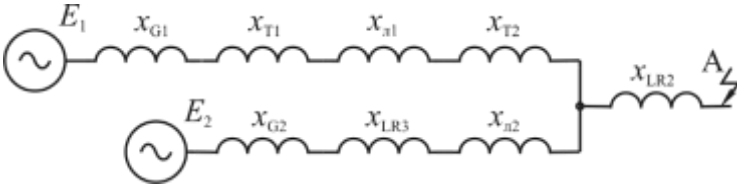


Рисунок 5.1 – Схема заміщення для розрахунку струму к.з.

Оскільки система містить декілька ступенів трансформації, усі її електричні параметри потрібно привести до базового ступеню. В якості базового ступеню обираємо ступінь, на якій треба визначити струм к.з., тобто $U_{\text{баз}} = 10 \text{ кВ}$

По-перше, визначаються МРС генераторів живлення відносно базової ступені трансформації:

$$E_1 = E_{G1} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right) = 10,5 \cdot \left(\frac{10}{10} \right) = 10,5 \text{ кВ}; \quad E_2 = E_{G2} = 11,5 \text{ кВ}.$$

Струм к.з. у даному випадку розраховується в іменованих одиницях. Для цього опори елементів, що складають схему заміщення, необхідно перерахувати до іменованих одиниць, тобто виразити їх в Омах, а також привести їх до базової ступені.

Реактивні опори генераторів живлення:

$$x_{G1} = x_d'' \frac{(E_d'')^2}{S_H} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right)^2 = 0,192 \frac{10,5^2}{125} \left(\frac{10}{10} \right)^2 = 0,169 \text{ Ом};$$

$$x_{G2} = x_d'' \frac{(E_d'')^2}{S_H} = 0,123 \frac{11,5^2}{68,75} = 0,2366 \text{ Ом}.$$

Реактивні опори силових трансформаторів:

$$x_{T1} = \frac{u_k \%}{100\%} \frac{U_H^2}{S_H} \left(\frac{U_{6аз}}{U} \right)^2 = \frac{11\%}{100\%} \frac{110^2}{200} \left(\frac{10}{110} \right)^2 = 0,055 \text{ Ом};$$

$$x_{T3} = \frac{u_k \%}{100\%} \frac{U_H^2}{S_H} = \frac{5,5\%}{100\%} \frac{10^2}{25} = 0,22 \text{ Ом}$$

Реактивні опори ліній електропередач:

$$x_{Л1} = x_0 l_1 \left(\frac{U_{6аз}}{U} \right)^2 = 0,4 \cdot 35 \cdot \left(\frac{10}{110} \right)^2 = 0,1157 \text{ Ом};$$

$$x_{Л2} = x_0 l_2 = 0,08 \cdot 6 = 0,48 \text{ Ом}$$

Реактивні опори струмообмежувальних реакторів:

$$x_{LR2} = \frac{x_p \%}{100\%} \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_H} = \frac{4\%}{100\%} \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 1000} = 0,231 \text{ Ом};$$

$$x_{LR3} = \frac{x_p \%}{100\%} \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_H} = \frac{5\%}{100\%} \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 0,7217 \text{ Ом}$$

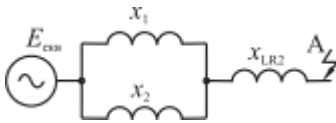


Рисунок 5.2 – Спрощена схема заміщення

Здійснюємо спрощення схеми заміщення до виду, що наданий на рис. 5.2. Параметри спрощеної схеми визначаються наступним чином:

$$x_1 = x_{G1} + x_{T1} + x_{Л1} + x_{T3} = 0,169 + 0,055 + 0,1157 + 0,22 = 0,56 \text{ Ом};$$

$$x_2 = x_{G2} + x_{LR3} + x_{Л2} = 0,2366 + 0,7217 + 0,48 = 1,44 \text{ Ом};$$

$$E_{екв} = \frac{E_1 \frac{1}{x_1} + E_2 \frac{1}{x_2}}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}} = \frac{10,5 \frac{1}{0,56} + 11,5 \frac{1}{1,44}}{\frac{1}{0,56} + \frac{1}{1,44}} = 10,78 \text{ кВ}$$

Визначаємо сумарний (еквівалентний) реактивний опір контуру к.з.:

$$x_{екв} = \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} + x_{LR2} = \frac{0,56 \cdot 1,44}{0,56 + 1,44} + 0,231 = 0,634 \text{ Ом},$$

а також параметри струму к.з. Початкове діюче значення періодичної складової:

$$I_{п0} = \frac{E_{екв}}{\sqrt{3} \cdot x_{екв}} = \frac{10,78}{\sqrt{3} \cdot 0,634} = 9,8 \text{ кА}.$$

Ударне значення струму короткого замикання:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{\text{уд}} I_{\text{п0}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 9,8 = 25 \text{ кА} .$$

Оскільки точка к.з значно віддалена від джерел живлення, то можна вважати амплітуду періодичної складової струму к.з незмінною у часі, а отже:

$$I_{\text{пт}} = I_{\text{п0}} = 9,8 \text{ кА} .$$

На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що обраний вимикач забезпечить працездатність при протіканні крізних струмів к.з. Електродинамічна стійкість буде забезпечена оскільки струм електродинамічної стійкості 52 кА значно перевищує ударне значення струму к.з. Термічна стійкість також буде забезпечена оскільки струм термічної стійкості 20 кА перевищує початкове діюче значення періодичної складової струму к.з.

Для перевірки комутаційної спроможності обраного вимикача треба визначити також параметри перехідної поновлюваної напруги на його контактах. Виходячи з місця розташування вимикача, можна зробити висновок, що даний вимикач є лінійним вимикачем, а окрім даної лінії до шин розподільного пристрою підключена ще одна лінія. Отже контакти даного вимикача шунтовані активним опором, величина якого дорівнює хвильовому опору лінії. В такому випадку процес поновлення напруги носить аперіодичний характер і початкова швидкість поновлення напруги без урахування ємності може бути визначена за такою формулою:

$$\left(\frac{du_{\text{в}}}{dt} \right)_0 = U_0 \frac{Z_{\text{л}}}{L},$$

де $Z_{\text{л}}$ – сумарний хвильовий опір ліній, що підключені до шин, за винятком аварійної; в даному випадку це одна лінія; припустимо, що це є кабельна лінія з хвильовим опором 20 Ом;

U_0 – зворотна напруга, величина якої для першого гасячого полюсу трифазної системи визначається за такою формулою:

$$U_0 = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot U_{\text{н}},$$

де $U_{\text{н}}$ – номінальна напруга для даної точки системи, яка ударному випадку складає 10 кВ.

$$\text{Отже: } U_0 = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot 10 = 12,247 \text{ кВ.}$$

Фазова індуктивність системи в даному випадку визначається фазовою індуктивністю силового трансформатора ТЗ, яка при промисловій частоті буде визначатись на підставі визначеного вище фазового реактивного опору:

$$L_{50} = \frac{x_{ТЗ}}{2\pi f} = \frac{0,22}{2\pi \cdot 50} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Внаслідок вихрових струмів та інших факторів фазова індуктивність трансформатора в процесі поновлення напруги буде менше на 20–30%, отже остаточно визначаємо:

$$L = 0,75L_{50} = 0,75 \cdot 7 \cdot 10^{-4} = 5,25 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Таким чином початкова швидкість поновлення напруги буде складати:

$$\left(\frac{du_B}{dt} \right)_0 = 12,247 \cdot \frac{20}{5,25 \cdot 10^{-4}} = 0,47 \frac{\text{кВ}}{\text{мкс}}.$$

На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що обраний вимикач забезпечить достатню комутаційну спроможність. Обраний вимикач забезпечить надійне вмикання на існуюче коротке замикання, оскільки номінальний струм вмикання 20 кА значно перевищує початкове діюче значення періодичної складової струму к.з. $I_{п0} = 9,8 \text{ кА}$. Обраний вимикач також забезпечить надійне вимикання струму к.з., оскільки виконуються основні умови. Номінальний струм вимикання 20 кА значно перевищує діюче значення періодичної складової струму к.з. в момент початку розмикання головних контактів вимикача $I_{пт} = 9,8 \text{ кА}$. Нормована швидкість поновлення напруги для вимикаемого струму, що складає менше 60% від номінального струму вимикання, складає 1,03 кВ/мкс, що значно перевищує розраховану величину швидкості поновлення напруги.

5.2 Приклад вибору низьковольтного апарату керування

У відповідності до завдання п. 3.2 потрібно здійснити вибір контактора змінного струму КМ2, вихідними даними для його вибору є паспортні дані асинхронного двигуна М3:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1. Номінальна потужність АД | $P_n = 75 \text{ кВт};$ |
| 2. Коефіцієнт корисної дії АД | $\eta = 0,9;$ |

3. Характер навантаження $\cos \varphi_n = 0,85$;

4. Кратність пускового струму АД $I_n/I_n = 6$.

За паспортними даними розраховується тривалий струм навантаження АД, який працює у номінальному режимі:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi_n} = \frac{75000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,85} = 148,98 \text{ А};$$

а також сталє значення пускового струму:

$$I_n = I_n \kappa_n = 148,98 \cdot 6 = 893,87 \text{ А}.$$

За розрахованим значенням тривалого струму навантаження і номінальній напрузі на шинах розподільного пристрою для частих пусків АД обирається магнітний пускач ПМА-6252М-У2, що призначений для пуску АД з короткозамкненим ротором потужністю до 75 кВт, з номінальним струмом 160 А, номінальною напругою 380 В, з вбудованим тепловим реле серії РТТ, нереверсивного виконання, клас зносостійкості А.

Номінальний робочий струм пускача для категорії використання АС-3 при температурі навколишнього середовища $+40^\circ\text{C}$ складає 160 А. Оскільки його величина декілька більше розрахованого струму навантаження, обраний магнітний пускач відповідає умові працездатності при тривалому його протіканні.

Перевірка комутаційної спроможності обраного магнітного пускача здійснюється за двома режимами:

а) **режимом нормальних комутацій** при вмиканні та вимиканні АД, який працює у номінальному режимі; для контакторів змінного струму категорії використання АС-3, допустимі параметри кола, що комутується, складають: **при вмиканні:** $I_0 = 6I_{nr} = 6 \cdot 160 = 960 \text{ А}$, що більше розрахованого пускового струму АД; $U_0 = U_{nr} = 380 \text{ В}$, що відповідає напрузі на шинах РУ; **при вимиканні:** $I_0 = I_{nr} = 160 \text{ А}$, що більше розрахованого струму навантаження АД; $U_0 = 0,17U_{nr}$, що більше зворотної напруги, яка дорівнює різниці між напругою джерела і реакцією якоря, яка складає, як правило, 10–15% номінальної напруги АД. Коефіцієнт потужності при вмиканні і вимиканні кола для даної категорії використання складає 0,35, що значно менше заданого.

Оскільки умови працездатності в даному режимі виконуються, можна зробити висновок, що обраний магнітний пускач при комутації даного АД у номінальному режимі, забезпечить потрібну комутаційну

зносостійкість і частоту комутацій.

б) **режимом рідких комутацій** при вмиканні і вимиканні струму перевантаження; такий режим часто виникає при обриві однієї з фаз, однак найбільш тяжким режимом комутації для магнітного пускача є вимикання загальмованого АД, або такого, що не запустився, оскільки в цьому випадку магнітний пускач вимикає пусковий струм, а на його контактах відновлюється повна напруга джерела; для контакторів змінного струму для даної категорії використання допустимі параметри кола, що комутується, в цьому випадку складають: **при вмиканні:** $I_0 = 8I_{\text{нр}} = 8 \cdot 160 = 1280 \text{ А}$, що перевищує значення пускового струму АД; $U_0 = 1,1U_{\text{нр}}$, що дещо перевищує напругу на шинах РП; **при вимиканні:** $I_0 = 6I_{\text{нр}} = 6 \cdot 160 = 960 \text{ А}$, що дещо більше розрахованого пускового струму даного АД; $U_0 = 1,1U_{\text{нр}}$, що дещо перевищує напругу на шинах РУ;

Коефіцієнт потужності при вмиканні та вимиканні кола для даної категорії використання складає 0,35, що значно менше заданого.

Оскільки умови працездатності в даному режимі комутації виконуються, можна зробити висновок, що обраний магнітний пускач забезпечить вмикання та вимикання кола при перевантаженнях, в тому числі загальмованого АД.

5.3 Приклад вибору низьковольтного апарата комутації та захисту

У відповідності до завдання п. 3.2 потрібно здійснити вибір автоматичного вимикача SF3 для асинхронного двигуна М4, вихідними даними для вибору електричних апаратів є:

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. Номінальна потужність АД | $P_{\text{н}} = 125 \text{ кВт};$ |
| 2. Коефіцієнт корисної дії АД | $\eta = 0,85;$ |
| 3. Характер навантаження | $\cos \varphi_{\text{н}} = 0,9;$ |
| 4. Кратність пускового струму АД | $I_{\text{п}}/I_{\text{н}} = 5,4.$ |

За паспортними даними розраховується тривалий струм навантаження АД, який працює у номінальному режимі:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}\cos\varphi_{\text{н}}} = \frac{125000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 248,2 \text{ А};$$

а також сталі та ударні значення пускового струму:

$$I_{\Pi} = I_{\Pi} \kappa_{\Pi} = 248,2 \cdot 5,4 = 1340,28 \text{ A};$$

$$i_{\text{уд.п}} = \sqrt{2} \kappa_{\text{уд}} I_{\Pi} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 1340,28 = 2464,07 \text{ A}$$

За розрахунком значенням струму навантаження і номінальній напрузі на шинах розподільного пристрою для нечастих пусків АД обирається автоматичний вимикач загальнопромислового застосування (нешвидкодійний) типу АЗ726Б, призначений для експлуатації в колах змінного струму напругою до 660 В та постійного струму напругою до 440 В.

Основними параметрами обраного вимикача є:

- номінальний струм – 250 А;
- номінальний струм максимальних розчіплювачів – 250 А;
- кількість полюсів – 3;
- межева комутаційна спроможність (ударний струм) – 75 кА;
- уставка за струмом спрацьовування:
 - теплового розчіплювача – 290 А;
 - електромагнітного розчіплювача – 2500 А.

Оскільки величина номінального струму вимикача та максимальних розчіплювачів більше розрахованого струму навантаження, обраний автоматичний вимикач задовольняє умові працездатності при тривалому його протіканні.

Перевірка автоматичного вимикача за захисною характеристикою здійснюється за умовою неспрацьовування електромагнітного розчіплювача під час пуску АД. Оскільки величина ударного пускового струму АД, що розрахована $i_{\text{уд.п}} = 2464,07 \text{ A}$, менше величини уставки за струмом спрацьовування електромагнітного розчіплювача 2500 А, можна зробити висновок, що обраний автоматичний вимикач відлаштований від пускового струму АД.

Перевірка комутаційної спроможності обраного автоматичного вимикача здійснюється за двома критеріями:

а) за комутаційною зносостійкістю при вимиканні АД, що працює у номінальному режимі, при цьому: $I_{\text{ком}} = I_{\Pi} = 250 \text{ A}$, що більше розрахованого струму навантаження; $U_{\text{ком}} = U_{\Pi} = 380 \text{ В}$, що набагато більше величини зворотної напруги при вимиканні АД, що обертається, у номінальному режимі; коефіцієнт потужності – 0,8, що менше заданого. Оскільки умови працездатності відносно даного режиму виконуються, можна зробити висновок, що обраний автоматичний вимикач забезпечить потрібну комутаційну зносостійкість при комутації АД, що

працює у номінальному режимі.

б) за межевою комутаційною спроможністю при вимиканні струму короткого замикання; в даному конкретному випадку в інформаційній літературі межева комутаційна спроможність задана відносно ударного струму к.з. необхідно розрахувати саме цей параметр.

Для цього також як при виборі високовольтного вимикача обирається точка к.з. яка є найнебезпечнішою для даного вимикача (точка В, див. рис. А.1), відносно якої складається схема заміщення, рис. 5.3.

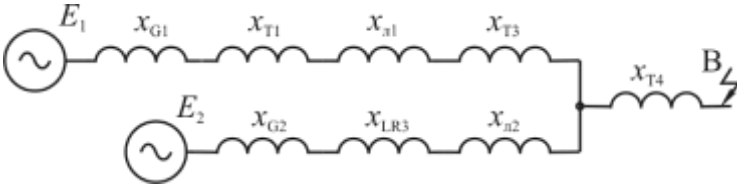


Рисунок 5.3 – Схема заміщення для розрахунку струму к.з.

Струм к.з. в даному випадку також розраховується в іменованих одиницях. В якості базової ступені обираємо ступінь, на який треба визначити струм к.з., тобто 0,4 кВ. Опори елементів контуру к.з. необхідно також виразити в іменованих одиницях і привести до базової ступені.

Реактивні опори генераторів живлення:

$$x_{G1} = x_d'' \frac{(E_d'')^2}{S_H} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right)^2 = 0,192 \frac{10,5^2}{125} \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,27 \text{ мОм}$$

$$x_{G2} = x_d'' \frac{(E_d'')^2}{S_H} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right)^2 = 0,123 \frac{11,5^2}{68,75} \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,38 \text{ мОм}.$$

Реактивні опори силових трансформаторів:

$$x_{T1} = \frac{u_k \%}{100\%} \frac{U_H^2}{S_H} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right)^2 = \frac{11\%}{100\%} \frac{110^2}{200} \left(\frac{0,4}{110} \right)^2 = 0,088 \text{ мОм};$$

$$x_{T3} = \frac{u_k \%}{100\%} \frac{U_H^2}{S_H} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right)^2 = \frac{5,5\%}{100\%} \frac{10^2}{25} \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,352 \text{ мОм}$$

$$x_{T4} = \frac{u_k \%}{100\%} \frac{U_H^2}{S_H} = \frac{5,5\%}{100\%} \frac{0,4^2}{1,6} = 5,5 \text{ мОм};$$

Реактивні опори ліній електропередач:

$$x_{л1} = x_0 I_1 \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right)^2 = 0,4 \cdot 35 \cdot \left(\frac{0,4}{110} \right)^2 = 0,185 \text{ мОм};$$

$$x_{л2} = x_0 I_2 \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right)^2 = 0,08 \cdot 6 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 0,768 \text{ мОм}$$

Реактивний опір струмообмежувального реактора:

$$x_{\text{LR3}} = \frac{x_p \%}{100\%} \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_H} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right)^2 = \frac{5\%}{100\%} \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400} \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 = 1,155 \text{ мОм}.$$

МРС генераторів живлення також приводяться до базового ступеню:

$$E_1 = E_{G1} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right) = 10,5 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right) = 0,42 \text{ кВ};$$

$$E_2 = E_{G2} \left(\frac{U_{\text{баз}}}{U} \right) = 11,5 \left(\frac{0,4}{10} \right) = 0,46 \text{ кВ}.$$

Здійснюється спрощення схеми заміщення до виду, що наданий на рис. 5.4, де

$$x_1 = x_{G1} + x_{T1} + x_{л1} + x_{T3} = 0,27 + 0,088 + 0,185 + 0,352 = 0,895 \text{ мОм};$$

$$x_2 = x_{G2} + x_{\text{LR3}} + x_{л2} = 0,38 + 1,155 + 0,768 = 2,303 \text{ мОм};$$

$$E_{\text{екв}} = \frac{E_1 \frac{1}{x_1} + E_2 \frac{1}{x_2}}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}} = \frac{0,42 \frac{1}{0,895} + 0,46 \frac{1}{2,303}}{\frac{1}{0,895} + \frac{1}{2,303}} = 0,431 \text{ кВ}$$

Сумарний (еквівалентний) реактивний опір контуру к.з.:

$$x_{\text{екв}} = \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} + x_{T4} = \frac{0,895 \cdot 2,303}{0,895 + 2,303} + 5,5 = 6,1445 \text{ мОм}.$$

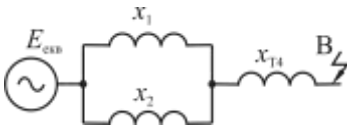


Рисунок 5.4 – Спрощена схема заміщення

Початкове діюче значення періодичної складової:

$$I_{п0} = \frac{E_{\text{екв}}}{\sqrt{3} \cdot x_{\text{екв}}} = \frac{431}{\sqrt{3} \cdot 6,1445} = 40,5 \text{ кА}.$$

Ударний струм короткого замикання:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{уд} I_{п0} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 40,5 = 74,45 \text{ кА}.$$

Отже визначена величина менше за величину, яка визначає граничну комутаційну спроможність обраного автоматичного вимикача 75 кА. Оскільки умова працездатності за даним параметром виконується, можна зробити висновок, що обраний автоматичний вимикач забезпечить надійне вимикання струму к.з.

ЛІТЕРАТУРА

1. Акодис, М.М. Определение восстанавливающегося напряжения на контактах выключателя [Текст] / М.М. Акодис, П.А. Корзун. – М.: Энергия, 1968. – 190 с.
2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения [Текст] / В.А. Андреев. – М.: Высшая школа, 1991. – 496 с.
3. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения [Текст] / В.А. Андреев, 4-е изд. – М.: Высшая школа, 2006. – 639 с.
4. Беляева Е.Н. Как рассчитать ток короткого замыкания [Текст] / Е.Н. Беляева. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 136 с.
5. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей [Текст] / Г.В. Буткевич. – М.: Энергия, 1973. – 263 с.
6. Голубев М.Л. Расчет токов к.з. в электросетях 0,4–35 кВ [Текст] / М.Л. Голубев. – М.: Энергия, 1980. – 88 с.
7. Дорошев К.И. Выключатели и измерительные трансформаторы в КРУ 6–220 кВ [Текст] / К.И. Дорошев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 152 с.
8. Дорошев К.И. Комплектные распределительные устройства 6–35 кВ [Текст] / К.И. Дорошев. – М.: Энергоиздат, 1982. – 376 с.
9. Дорошев К.И. Эксплуатация комплектных распределительных устройств 6–220 кВ [Текст] / К.И. Дорошев. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
10. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст] : справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
11. Мандрыкин С.А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования станций и подстанций [Текст] / С.А. Мандрыкин, А.А. Филатов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 376 с.

12. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций [Текст] / Б.Н. Неклепаев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.
13. Основы теории электрических аппаратов [Текст]: учебник для вузов / И.С. Таев, Б.К. Буль, А.Г. Годжелло и др.; под ред. И.С. Таева. – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.
14. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения [Текст] / [Н.М. Адоньев, В.В. Афанасьев, И.М. Бортник и др.]; под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 488 с.
15. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения [Текст] / Под ред. И.А. Баумштейна и С.А. Бажанова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 768 с.
16. Таран, С.А. Диагностирование электрооборудования [Текст] / С.А. Таран. – М.: Энергия, 1979. – 388 с.
17. Федоров, А.А. Эксплуатация электрооборудования промышленных предприятий [Текст] / А.А. Федоров, Ю.П. Попов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 315 с.
18. Фолкенберри, Л.М. Справочное пособие по ремонту электрических и электронных систем [Текст] / Л.М. Фолкенберри; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
19. Электрическая часть станций и подстанций [Текст]: учеб. для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова и др.; под ред. А.А. Васильева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
20. Электротехнический справочник [Текст]: в 3 т. / Под ред. И.Н. Орлова [и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1985.
21. Электротехнический справочник [Текст]: в 3 т. / Под ред. М.Г. Чиликина [и др.] – М.: Энергия, 1974.

Додаток А

Вихідні дані до контрольної роботи

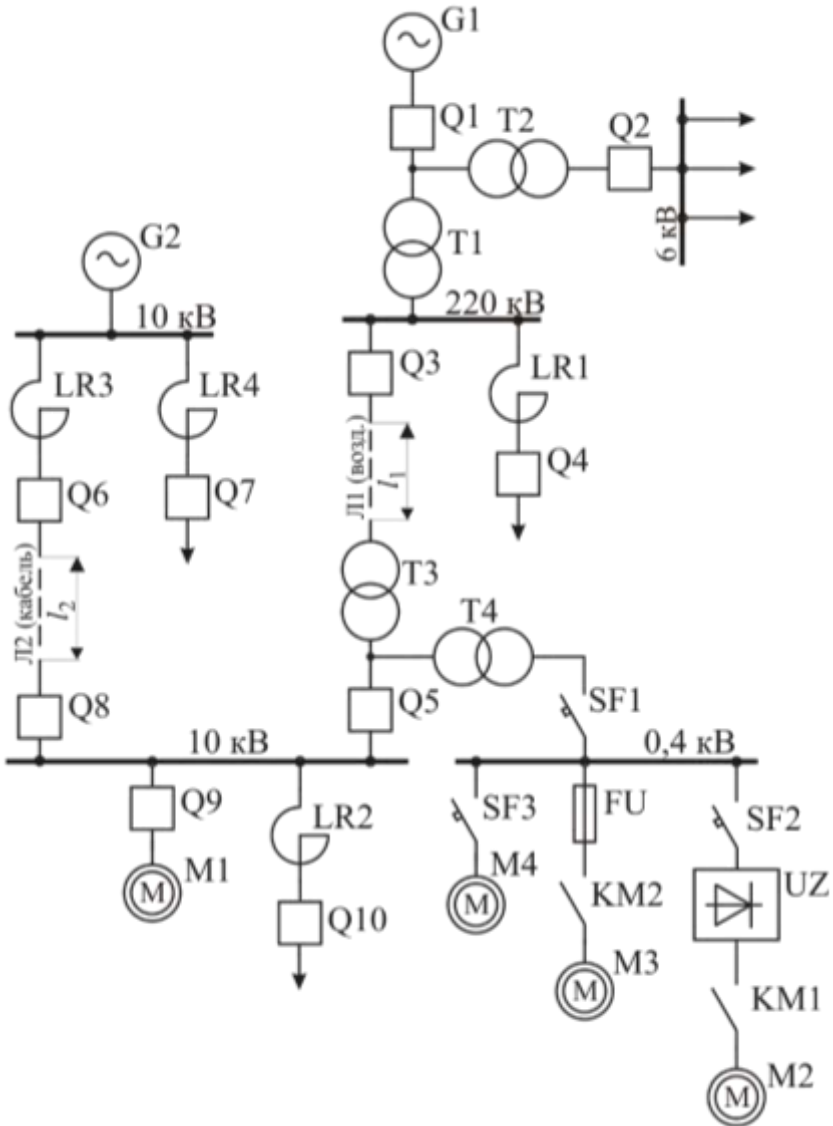


Рисунок А.1 – Схема ділянки електричної системи

Таблиця А.1 – Дані електрообладнання і системи

Позначення та параметри електрообладнання		Передостання цифра індивідуального шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G1	S_H , МВА	75		125		353		588		1000	
	E_d'' , кВ	11,0		10,5		20,0		20,0		24,0	
	χ_d'' , о.е.	0,146		0,192		0,173		0,243		0,29	
	C , мкФ	0,61		0,32		0,18		0,25		0,37	
G2	S_H , МВА	7,5		37,5		68,75		75,0		117,5	
	E_d'' , кВ	10,5		10,5		11,5		10,5		10,5	
	χ_d'' , о.е.	0,11		0,153		0,123		0,146		0,183	
	C , мкФ	0,15		0,54		0,695		0,61		0,72	
T1	S_H , МВА	83		125		250		630		1000	
	u_K , %	11,0		11,0		11,0		11,0		11,0	
T2	S_H , МВА	4,0		6,3		10,0		16,0		25,0	
	u_K , %	6,5		6,5		14,0		10,0		9,5	
T3	S_H , МВА	32		63		83		125		200	
	u_K , %	11,0		11,0		11,0		11,0		11,0	
T4	S_H , МВА	0,63		1,0		1,6		2,5		4,0	
	u_K , %	8,0		5,5		5,5		5,5		6,5	
LR1	I_H , А	650		650		650		1350		1350	
	χ_p , %	15		15		15		15		15	
LR2	I_H , А	400		630		1000		1600		2500	
	χ_p , %	2,5		3,5		5		5		7,5	
LR3	I_H , А	400		630		1000		1600		2500	
	χ_p , %	2,5		3,5		5		5		7,5	
LR4	I_H , А	400		630		1000		1600		2500	
	χ_p , %	2,5		3,5		5		5		7,5	
M1	P_H , кВт	1250		2000		4000		5000		6300	
	I_H/I_H	5,1		5,6		5,8		7,1		6,1	
	$\cos\varphi$	85		86		86		86		87	
	η , %	91		95,6		96,3		96,3		96,7	
M2	P_H , кВт	15		22		30		45		55	
	U_H , В	440		440		440		440		440	
	η , %	76		85		86		88		85	

Продовження табл. А.1

Позначення та параметри електрообладнання		Передостання цифра індивідуального шифру									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
М3	P_n , кВт	10,0		17,0		30,0		40,0		75,0	
	I_n/I_n ,	7,0		7,0		7,0		7,0		7,0	
	$\cos\varphi$	0,89		0,9		0,9		0,91		0,92	
	η , %	88,0		88,0		89,0		89,0		90,0	
М4	P_n , кВт	22,0		55,0		40,0		75,0		110	
	I_n/I_n ,	7,0		7,0		7,0		7,0		6,5	
	$\cos\varphi$	0,9		0,92		0,91		0,92		0,85	
	η , %	88,0		90,0		89,0		90,0		93,5	
Л1	l_1 , км	25		35		50		60		80	
	x_0 , Ом/км										
Л2	l_2 , км	0,8		1,2		1,8		2,5		3,5	
	x_0 , Ом/км										