

**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

**РЕМОНТ І ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА
ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАД-
НАННЯ:**

**методичні вказівки до виконання
практичних робіт**

Запоріжжя 2025

УДК 621.3:621.791(072)
М54

*Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № від «21» листопад 2025 р.)*

Укладач

Шрамко Ю.Ю. канд. техн. наук,

М54 Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Ремонт і обслуговування електроприводу та електронних приладів промислового обладнання» / уклад. Ю. Ю. Шрамко. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025. 81 с.

Методичні вказівки з дисципліни «Ремонт і обслуговування електроприводу та електронних приладів промислового обладнання» призначені для здобувачів бакалаврського рівня освіти за спеціальністю «Інжиніринг механічного обладнання та систем».

Дисципліна є вибірковою та спрямована на формування знань і навичок із діагностики, технічного обслуговування, ремонту й модернізації електроприводів і електронних систем керування промисловим обладнанням.

У методичних вказівках подано основні теоретичні положення, порядок виконання практичних завдань, вимоги до оформлення звітів і критерії оцінювання. Особливу увагу приділено сучасним методам діагностики, цифровим засобам контролю та дотриманню вимог безпеки під час експлуатації електромеханічних систем.

УДК 621.3:621.791(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ, ДІАГНОСТИКА ТИПОВИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ, ЗАМІНА ТА РЕГУЛЮВАННЯ.	6
1.1. Основи теоретичні відомості	6
1.2 Програма роботи	11
1.3. Завдання та вихідні данні.	11
1.4. Критерії оцінювання	14
1.5. Питання для самоперевірки	15
1.6. Перелік рекомендованої джерел.	16
ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. ДІАГНОСТИКА СТАНУ АСИНХРОННИХ І СИНХРОННИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН. ВИЗНАЧЕННЯ ТИПОВИХ ПОШКОДЖЕНЬ (ПЕРЕГРІВ, ЗАМИКАННЯ, ЗНОС ПІДШИПНИКІВ), МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ.	17
2.1. Основи теоретичні відомості	17
2.2 Програма роботи	26
2.3. Завдання та вихідні данні.	27
2.4. Критерії оцінювання	27
2.5. Питання для перевірки	28
2.6. Перелік рекомендованої літератури.	29
ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. МЕТОДИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ. ПРАКТИЧНА ПЕРЕВІРКА РІЗНИХ СПОСОБІВ (ЗМІНА НАПРУГИ, ЧАСТОТИ, ОПОРУ, ІМПУЛЬСНЕ КЕРУВАННЯ), ОЦІНКА ВПЛИВУ НА РОБОТУ ДВИГУНА.	30
3.1. Основи теоретичні відомості	30
3.2 Програма роботи	34
3.3. Завдання та вихідні данні.	34
3.4. Критерії оцінювання	36
3.5. Питання для перевірки	37
3.6. Перелік рекомендованої літератури.	38
ПРАКТИЧНА РОБОТА 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ. ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ, ВТРАТ ХОЛОСТОГО ХОДУ ТА КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ.	39
4.1. Основи теоретичні відомості	39
4.2 Програма роботи	42
4.3. Завдання та вихідні данні.	42
4.4. Критерії оцінювання	43
4.5. Питання для перевірки	44
4.6. Перелік рекомендованої літератури.	45

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. ПЕРЕВІРКА ТА ВИПРОБУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ 0,4–10 КВ. ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ, ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕНЬ, ПРАКТИЧНІ НАВИЧКИ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ.	46
5.1. Основи теоретичні відомості	46
5.2 Програма роботи	47
5.3. Завдання та вихідні данні.	47
5.4. Критерії оцінювання	53
5.5. Питання для перевірки	54
5.6. Перелік рекомендованої літератури.	55
ПРАКТИЧНА РОБОТА 6. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ 0,4–10 КВ. ОГЛЯД, ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИМИКАЧІВ, ШИН, КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАННЯ РЕГЛАМЕНТНИХ ОПЕРАЦІЙ.	56
6.1. Основи теоретичні відомості	56
6.2 Програма роботи	59
6.3. Завдання та вихідні данні.	60
6.4. Критерії оцінювання	61
6.5. Питання для перевірки	62
6.6. Перелік рекомендованої літератури.	62
ПРАКТИЧНА РОБОТА 7. ДІАГНОСТИКА ТА РЕМОНТ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ. ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ У ДАТЧИКАХ, РЕГУЛЯТОРАХ, МОДУЛЯХ КЕРУВАННЯ, ЗАМІНА ЕЛЕМЕНТІВ.	64
7.1. Основи теоретичні відомості	64
7.2 Програма роботи	68
7.3. Завдання та вихідні данні.	68
7.4. Критерії оцінювання	72
7.5. Питання для перевірки	73
7.6. Перелік рекомендованої літератури.	73
ПРАКТИЧНА РОБОТА 8. ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ І ДІАГНОСТИЧНИХ ПРИЛАДІВ У СЕРВІСНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ. РОБОТА З МУЛЬТИМЕТРАМИ, МЕГАОММЕТРАМИ, СТРУМОВИМИ КЛІЩАМИ, ТЕПЛОВІЗОРАМИ, ВІБРОАНАЛІЗАТОРАМИ.	74
8.1. Основи теоретичні відомості	74
8.2 Програма роботи	78
8.3. Завдання та вихідні данні.	78
8.4. Критерії оцінювання	79
8.5. Питання для перевірки	81
8.6. Перелік рекомендованої літератури.	81



ВСТУП

Сучасне промислове виробництво характеризується високим рівнем автоматизації технологічних процесів, широким використанням електроприводів, електронних систем керування та контрольно-вимірювальних приладів. Ефективність роботи підприємств значною мірою залежить від надійності та безвідмовності функціонування електро-механічного обладнання, тому питання його обслуговування, діагностики і ремонту є одними з ключових у професійній підготовці фахівців технічного профілю.

Дисципліна **«Ремонт і обслуговування електроприводу та електронних приладів промислового обладнання»** є важливою складовою фахової підготовки здобувачів освіти спеціальності **«Інжиніринг механічного обладнання та систем»**. Її зміст орієнтований на формування у студентів знань про принципи побудови, типові несправності, методи технічної діагностики та технологію ремонту електроприводів, систем керування, вимірювальних і виконавчих пристроїв.

У процесі вивчення дисципліни здобувачі набувають умінь виконувати технічне обслуговування електромеханічних систем, користуватися вимірювальною та діагностичною апаратурою, проводити випробування і налагодження після ремонту, аналізувати результати вимірювань та приймати рішення щодо усунення виявлених дефектів. Особлива увага приділяється питанням безпечного виконання робіт, дотримання вимог нормативно-технічної документації та використання сучасних засобів діагностики.

Методичні вказівки розроблено з метою організації практичної підготовки студентів, сприяння засвоєнню теоретичного матеріалу та формуванню навичок самостійної роботи. У них наведено короткі теоретичні відомості, приклади завдань, порядок виконання практичних робіт, методичні рекомендації щодо оформлення звітів та критерії оцінювання результатів.

Вивчення дисципліни створює базу для подальшого опанування спеціалізованих курсів з експлуатації, модернізації та управління електромеханічними системами, а також формує професійне мислення, необхідне для інженерів, які працюють у галузі обслуговування промислового обладнання, енергетичних і автоматизованих комплексів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСНОГО ОБЛАДНАННЯ. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ, ДІАГНОСТИКА ТИПОВИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ, ЗАМІНА ТА РЕГУЛЮВАННЯ.

Мета роботи. Ознайомитися з конструкцією, принципом дії та призначенням електричних апаратів керування і захисного обладнання, засвоїти методи перевірки їх технічного стану, вимірювання електричних параметрів і виявлення типових несправностей. Набути практичних навичок діагностики, регулювання та заміни елементів у кнопках, вимикачах, рубильниках, пакетних і універсальних перемикачах, що використовуються в системах електроприводу промислового обладнання.

1.1. Основі теоретичні відомості

Контактними комутуючими електричними пристроями ручного управління є вимикачі і вимикачі, роз'єднувачі, пакетні вимикачі, кулачкові і універсальні вимикачі, кнопки управління, контролери і командні контролери.

Кнопки керування призначені для того, щоб оператор давав управління при управлінні різними електромагнітними пристроями (реле, пускачами, контакторами), а також для комутації кіл керування сигналізацією, електроблокуванням та іншими колами постійного і змінного струму на напругу 440 і 660 В відповідно.

Кнопки керування розрізняються за розмірами (звичайні і малогабаритні), кількістю замикаючих і розмикаючих контактів, номінальним струмом і напругою, формою і кольором штовхача.

За конструкцією розрізняють кнопки управління: з самостійним поверненням у вихідне положення; з фіксаторами, що фіксують положення після натискання; за допомогою спеціального ключа.

Два, три і більше кнопкових елемента, змонтованих в одному корпусі, утворюють кнопку станцію або кнопку пост. Вони виготовляються для монтажу на консоль, стіну (підвісну), підлогову (ніжку).

Розрізняють кнопки керування відкритого виконання (КЕ); вимикачі відкритого виконання (ПЕ); кнопкові пости керування на 2, 3, 4 і більше кнопкових елементів (ПКЕ).

Основною частиною кнопок керування є кнопковий елемент (рис. 1.1), в пластиковому корпусі 3 якого встановлені нерухомі контакти 5. На штоку 8 закріплений контактний міст 6, який притискається пружинами 7, що забезпечують контактний тиск нижні контакти. Повернення штовхача у вихідне положення здійснюється за допомогою пружини 2, яка встановлена між диском 4 і виїмкою штовхача. Кнопка кріпиться до панелі за допомогою гайки 9. Контакти кнопкових елементів посріблені. Вони розраховані на 40 000 циклів включення і виключення під навантаженням.

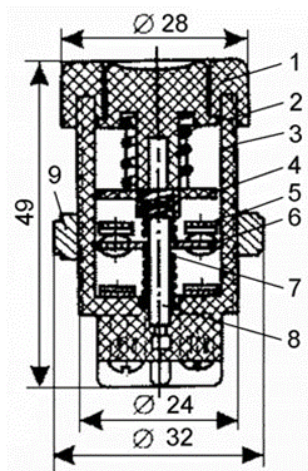


Рисунок 1.1 - Конструкція кнопки керування: 1 – штовхач; 2 – пружина; 3 – тіло; 4 – диск; 5 – нерухомі контакти; 6 – контактний міст; 7 – пружина; 8 – стрижень; 9 – гайка

Загальний вигляд кнопок управління показаний на рис. 1.2, а їх графічне та буквено-цифрове позначення показано на рис. 1.3.



Рисунок 1.2 - Загальний вигляд кнопок управління

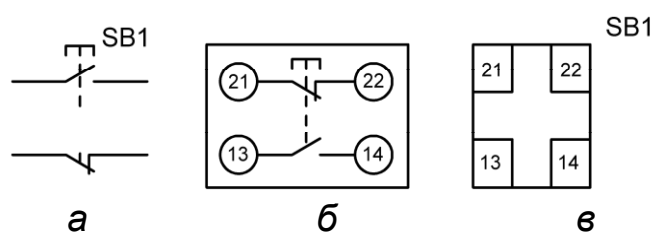


Рисунок 1.3 - Графічне та буквено-цифрове позначення кнопок управління: а – електричне коло; б – електрична схема – умовне позначення монтажу; в – спрощений символ монтажу

Вимикач - це простий електричний комутаційний апарат з ручним приводом і металевими ножовими контактами, що входять в нерухомі пружинні контакти, використовується в електричних колах для включення/відключення навантаження з великим струмом.

За кількістю полюсів вони поділяються на одно-, дво- і триполюсні; за типом управління вони можуть бути з центральною або бічною рукояткою або важільним приводом; за способом підключення – з лицьового або тильного боку пристрою.

У деяких конструкціях вимикач поєднується з запобіжниками або в якості ножів використовуються запобіжники. Така конструкція, що дозволяє виконувати функції комутації та захисту, називається блоком «запобіжник-вимикач» (БЗВ).

Розрізняють кілька видів вимикачів і перемикачів:

- П (П) – рубильник (перемикач);
- РП (РБ) – рубильник (перемикач); вимикач з бічною рукояткою (рис. 1.4);
- РПБ (ППБ) – рубильник (перемикач); з боковим важільним приводом;
- РПЦ (ППЦ) - рубильник (перемикач); з центральним важільним приводом.



Рисунок 1.4 - Загальний вигляд перемикача ПУ з бічною рукояткою

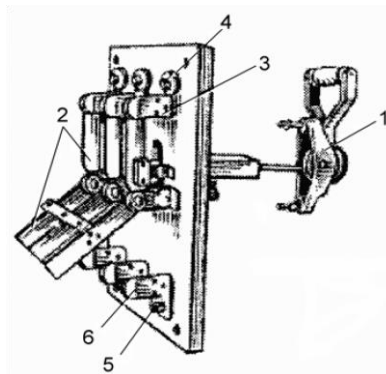


Рисунок 1.5 - Конструкція перемикача-вимикача РПЦ з центральним важільним приводом: 1 – важіль; 2 – рухомий контактний ніж; 3, 6 – контактні стійки; 4, 5 – контактні висновки

Комутаційним елементом вимикачів є рухомий ніж 2 (рис. 1.5), який включений в щелепи контактних стійок 3. Вимикач відрізняється наявністю додаткових контактних стійок 6 з клемми 5, що забезпечує перемикачання відповідних до нього електричних ланцюгів з однієї на іншу.

Пакетні вимикачі і перемикачі використовуються для комутації в колах керування і сигналізації, в пускових і реверсивних колах малопотужної електроенергетики під навантаженням, в ланцюгах постійного струму напругою до 230 В і змінним струмом напругою 400 В. Випускаються пакетні перемикачі, які розраховані на струм 4-400 А і 15-20 перемикачів і мають одне-, дво- і триполюсна конструкція у відкритій, захищеній і герметичній конструкції (рис. 1.6).

Типи пакетних комутаторів і комутаторів мають наступні літерні позначення: PV – пакетний комутатор; PVM – такі ж, малогабаритні; GPVM – герметичні малогабаритні. Цифри, наступні за буквами, позначають кількість полюсів і номінальний струм пристрою.

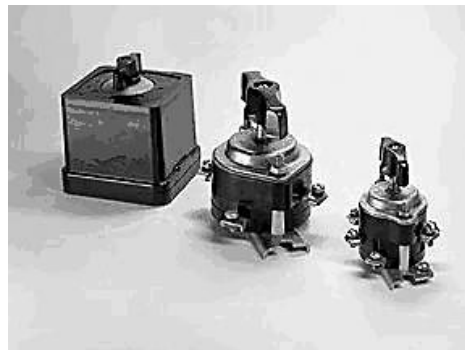


Рисунок 1.6 - Одне-, дво- і триполюсна конструкція у відкритій, захищеній і герметичній конструкції перемикачів

Пакети різних полюсів зібрані на кронштейні 4 (рис. 1.7) з рульовими тягами 3. На ролику з рукояткою 1 закріплені рухомі контакти 7 з профільним отвором 5. Нерухомі контакти 8 розташовані між ізоляційними дисками 6. Контактні преси відбуваються під дією пружинистих рухомих контактів. Дуга, що виникає при замиканні і розмиканні контактів, гаситься в камері, закритої кришкою 2, яка розташована між мішками, при наявності іскропоглинаючих шайб.

Вимикач оснащений механізмом миттєвого перемикання. Він являє собою бойову пружину, яка забезпечує високу швидкість розмикання контактів.

Універсальні вимикачі типу УП мають два і більше положень рукоятки, від 2 до 16 секцій (8 варіантів), встановлюються на щитах і пультах управління і використовуються для ручного перемикання ланцюгів управління напругою до 440 В постійного струму і до 500 В змінного струму.

Універсальні вимикачі випускаються у відкритому (серія UP 5300), водяному (серія UP 5400) та вибухозахищеному (серія UP 5800) виконанні.

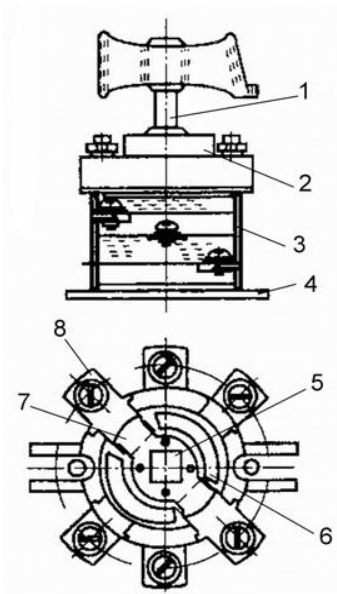


Рисунок 1.7 - Конструкція пакетного вимикача: 1 – рукоятка; 2 – кришка; 3 – рульова тяга; 4 – кронштейн; 5 - профільний отвір; 6 – ізоляційний диск; 7 – рухомий контакт; 8 – нерухомий контакт

Основною деталлю перемикача УП 5300 є робочі секції, стягнуті шпильками (рис. 1.8). Через ділянки проходить ролик, на одному кінці якого є пластикова ручка. Для кріплення вимикача до панелі в його передній стінці виконані три виступи з отворами під регулювальні гвинти. Комутація електричних ланцюгів здійснюється за допомогою наявних контактів.



Рисунок 1.8 - Загальний вигляд універсального вимикача

Кожна секція складається з пластмасової перегородки 2, контактної скоби 1 з двома звареними срібними контактами, двох кронштейнів 5, що взаємодіють зі штирями 6, дротяних затискачів 4 і кулачкових шайб 3, встановлених на центральному ролику (рис. 1.9). Кожна секція містить по три кулачкові шайби, одна з яких призначена для переміщення лівого штифта, інша - Щоб перемістити правий палець, середній палець розвести обидва пальці.

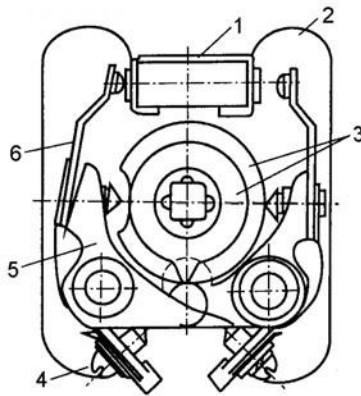


Рисунок 1.9 - Конструкція робочої секції універсального вимикача:
 1 – контактна скоба; 2 – пластикова перегородка; 3 – кулачкові шайби;
 4 – хомут; 5 – кронштейн; 6 – палець

При повороті ролика в одну сторону виступи робочої поверхні крайньої лівої або правої шайби притискаються до хвостовика. При цьому шипи пальців входять в порожнини середньої шайби. Відділення пальців відбувається при натисканні виступу робочої поверхні середньої шайби на шипи. Хвостовик кронштейна 5 в цей час знаходиться в заглибленні відповідної лівої або правої крайньої шайби.

1.2 Програма роботи

1. На підставі даних розрахунків визначити мінімально допустимий діаметр d мідного провідника круглого перерізу без ізоляції.
2. Визначити температуру нагріву θ_n мідної шини прямокутного перетину розмірами перерізу $h \times b$, по якій протікає усталений струм I .

1.3. Завдання та вихідні данні

Визначення допустимого перерізу круглого проводу для відомого значення тривалого струму та допустимої температури його нагрівання

Під час проектування електричних апаратів виникає практична необхідність визначення допустимого перерізу (діаметру) струмоводів, по яких в нормальних чи аварійних режимах протікатиме електричний струм. Теплова частина такого розрахунку має забезпечити за всіх режимів роботи електричного апарату температуру нагріву струмоводів не вище певної температури.

Потужність тепла, яка виділяється в провіднику опором R в одиницю часу при протіканні по ньому постійного електричного струму I , визначається за формулою:

$$P = I^2 \cdot R. \quad (1.1)$$

Питомий опір матеріалу провідника залежить від температури нагріву провідника, тому формула (5.1) набуває вигляду:

$$P = \frac{I^2 \cdot \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T_H - T_\alpha)) \cdot L}{S}, \quad (1.2)$$

де ρ_0 – питомий опір матеріалу провідника, Ом·м, визначений для температури T_α , °К, для якої також визначено температурний коефіцієнт опору матеріалу провідника α , 1/°К; T_H – усталена температура нагріву провідника, °К; L – довжина провідника, м; S – площа перерізу провідника, м², яка для провідника круглого перерізу визначається через його діаметр d за формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (1.3)$$

Одночасно з нагрівом провідника відбувається віддавання тепла в навколишнє середовище з його поверхні шляхом теплопередачі, конвекції та випромінювання. Потужність, яка віддається в навколишнє середовище визначається за формулою Ньютона:

$$P = F \cdot k_T \cdot (T_H - T_0), \quad (1.4)$$

де F – площа поверхні більш нагрітого тіла, з якої відбувається передавання тепла, м²; k_T – коефіцієнт теплопередавання, який враховує передавання тепла за рахунок теплопередачі, конвекції та випромінювання, Вт/(м²·К); T_0 – температура оточуючого середовища, °К.

Для провідника круглого перерізу площу поверхні можна визначити через його діаметр d та довжину L за формулою:

$$S = \pi \cdot d \cdot L. \quad (1.5)$$

Якщо прирівняти значення потужностей з формул (1.2), (1.4), враховуючи (1.3) та (1.5), можна знайти мінімально допустимий діаметр провідника круглого перерізу, за якого його температура не перевищить допустиму.

Завдання. Визначити мінімально допустимий діаметр d мідного провідника круглого перерізу без ізоляції, для якого при тривалому протіканні постійного струму I температура його нагріву не перевищить θ_H , якщо температура оточуючого середовища становить θ_0 . Прийняти коефіцієнт тепловіддачі провідника $k_T = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°К})$, температурний коефіцієнт опору міді $\alpha = 4,041 \cdot 10^{-3} 1/\text{°К}$, питомий опір міді при $\theta_\alpha = 20^\circ\text{C}$ становить $\rho_0 = 0,0168 (\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м})$. Варіанти завдань наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1- Варіанти завдань

Варіант:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I, A	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	95
$\theta_0 (^\circ C)$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
$\theta_H (^\circ C)$	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54

Розрахунок усталеної температури нагріву мідної шини прямокутного перерізу

В усталеному режимі роботи електричних апаратів важливим є визначення температури нагріву струмовідних частин, оскільки нагрів ізоляції може призводити до скорочення терміну її експлуатації, а температурні розширення матеріалів можуть викликати руйнівні деформації або неналежне спрацювання механічних вузлів електричних апаратів.

Потужність тепла, яка виділяється в провіднику в одиницю часу при протіканні по ньому постійного електричного струму I , визначається за формулою:

$$P = \frac{I^2 \cdot \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T_H - T_\alpha)) \cdot L}{S}, \quad (1.6)$$

де ρ_0 – питомий опір матеріалу провідника, Ом·м, визначений для температури T_α , °К, для якої також визначено температурний коефіцієнт опору матеріалу провідника α , 1/°К; T_H – усталена температура нагріву провідника, °К; L – довжина провідника, м; S – площа перерізу провідника, м², яка для провідника прямокутного перерізу визначається через добуток висоти h перерізу на його ширину b .

Одночасно з нагрівом провідника відбувається віддавання тепла в навколишнє середовище з його поверхні шляхом теплопередачі, конвекції та випромінювання. Потужність, яка віддається в навколишнє середовище визначається за формулою Ньютона:

$$P = F \cdot k_T \cdot (T_H - T_0), \quad (1.7)$$

де F – площа поверхні більш нагрітого тіла, з якої відбувається передавання тепла, м²; k_T – коефіцієнт теплопередавання, який враховує передавання тепла за рахунок теплопередачі, конвекції та випромінювання, Вт/(м²·К); T_0 – температура оточуючого середовища, °К.

Для провідника прямокутного перерізу площу поверхні тепловіддачі визначають за формулою:

$$F = 2 \cdot (h + b) \cdot L. \quad (1.8)$$

Коефіцієнт теплопередавання, в загальному випадку, не є константою і залежить від температури нагріву провідника (це особливо проявляється за високої різниці температури нагріву та оточуючого середовища), причому, тому, якщо прирівняти значення потужностей за формулами (1.6), (1.7), з урахуванням функціональної залежності $kT = f(T_H)$, для отримання значення усталеної температури нагріву провідника необхідно скласти квадратне рівняння відносно T_H . Найменший з дійсних коренів рівняння, який є більшим за температуру оточуючого середовища, є шуканим значенням температури усталеного нагріву провідника зі струмом.

Завдання. Визначити температуру нагріву θ_H мідної шини прямокутного перетину розмірами перерізу $h \times b$, по якій протікає усталений струм I , якщо температура навколишнього середовища становить θ_0 , температурний коефіцієнт опору міді $\alpha = 4,041 \cdot 10^{-3} (1/^\circ K)$, питомий опір міді при температурі $\theta_\alpha = 20^\circ C$ становить $\rho_0 = 0,0175 (Om \cdot mm^2/m)$. Коефіцієнт тепловіддачі для міді в умовах вільної конвекції в повітрі розраховувати за формулою:

$$KT = 9,2 \cdot (1 + 0,9 \cdot 10^{-2}(\theta_H - \theta_0)).$$

Варіанти завдань для розрахунків наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Варіанти завдань

Варіант:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I , кА	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
θ_0 ($^\circ C$)	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
h , мм	170	150	20	40	60	80	100	120	140	160	180	190	180	170	160
b , мм	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

1.4. Критерії оцінювання

Максимум балів за роботу 5 балів.

Розподіл балів за виконання практичної роботи:


- 81-100 % від макс. балів – повна відповідність попередньому критерію, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
- 61-80 % від макс. балів – всі досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;

- 41-60 % від макс. балів – дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
- 21-40 % від макс. балів – у дослідях/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
- 1-20% від макс. балів – у дослідях/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.

Підготовлена згідно робота у форматі файлу *.docx або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle. Оскарження оцінки може бути здійснене не пізніше двох тижнів з моменту оцінювання роботи.

1.5. Питання для самоперевірки

1. Які комутаційні апарати відносяться до контактних пристроїв ручного керування?
2. Яке призначення кнопок керування в електроприводах та електричних колах?
3. За якими ознаками класифікують кнопки керування?
4. Які конструктивні особливості кнопок з фіксаторами і без них?
5. Що таке кнопковий пост і які типи виконання кнопкових постів існують?
6. Яке призначення рубильників (вимикачів) і які їх основні види?
7. У чому полягає відмінність вимикачів з центральною та бічною рукояткою?
8. Які особливості конструкції пакетних вимикачів і для яких кіл вони застосовуються?
9. Які серії універсальних вимикачів (УП) існують і для яких умов експлуатації вони призначені?
10. Як працює механізм миттєвого перемикачів у пакетному вимикачі?
11. За якими формулами визначається мінімально допустимий діаметр мідного провідника круглого перерізу?
12. Як впливає температура навколишнього середовища на допустимий струм у провіднику?
13. Як визначається ustalена температура нагріву мідної шини прямокутного перерізу?
14. Які параметри враховуються при розрахунку тепловіддачі провідників?
15. Чому для визначення ustalеної температури нагріву прямокутної шини необхідно розв'язувати квадратне рівняння?

- 
16. Які можливі несправності виникають у кнопках керування та як їх діагностувати?
 17. Як здійснюється заміна зношених контактів у вимикачах та кнопках керування?
 18. Які дефекти можуть з'явитися в пакетних вимикачах і як їх усунути?
 19. Як перевіряють справність універсальних вимикачів типу УП?
 20. Які основні заходи безпеки необхідно виконувати під час діагностики та ремонту апаратів керування?

1.6. Перелік рекомендованої джерел

1. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навч. посіб. / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 173 с.
2. Бржезицький В. О., Зелінський В. Ц., Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є. Електричні апарати : підручник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. 602 с.
3. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навчальний посібник / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2011. 137 с.
4. Чорна В. В., Чорний С. В. Технологія електромонтажних робіт : підручник. Харків : Компанія СМІТ, 2014. 288 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. ДІАГНОСТИКА СТАНУ АСИНХРОННИХ І СИНХРОННИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН. ВИЗНАЧЕННЯ ТИПОВИХ ПОШКОДЖЕНЬ (ПЕРЕГРІВ, ЗАМИКАННЯ, ЗНОС ПІДШИПНИКІВ), МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ.

Мета роботи. Опанувати принципи та методи діагностики технічного стану асинхронних і синхронних електричних машин, навчитися визначати характерні пошкодження обмоток і механічних елементів (перегрів, міжвиткові замикання, замикання на корпус, обриви, знос підшипників), ознайомитися з методами випробувань і способами усунення дефектів, а також засвоїти основи балансування роторів електричних машин.

2.1. Основи теоретичні відомості

Визначення дефектів обмоток електродвигуна.

Виявлення замикань в обмотках електричних машин

У процесі експлуатації в обмотках змінного струму можуть виникати різні види замикань:

- між витками однієї котушки;
- між котушками або котушковими групами однієї фази;
- між котушками різних фаз.

Основною ознакою наявності короткозамкненого контуру є місцевий перегрів обмотки. Для його виявлення після відключення машини від мережі проводять обережне промацування поверхні обмотки: ділянка з дефектом має підвищену температуру.

Існують також електричні методи виявлення пошкодженої фази:

- При з'єднанні обмотки за схемою «зірка» (рис. 2.1, а) струм у фазі з замиканням буде більшим за струми в інших фазах. Це фіксується за показами амперметра (наприклад, А3).
- При з'єднанні обмотки за схемою «трикутник» (рис. 2.1, б) підвищений струм спостерігається у двох фазах, до яких приєднана пошкоджена обмотка. У цьому випадку покази амперметра (наприклад, А2) також відрізняються від нормальних значень.

Таким чином, аналіз температурних і струмових характеристик дозволяє виявити фазу, де відбулося замикання, і своєчасно вжити заходів для усунення дефекту.

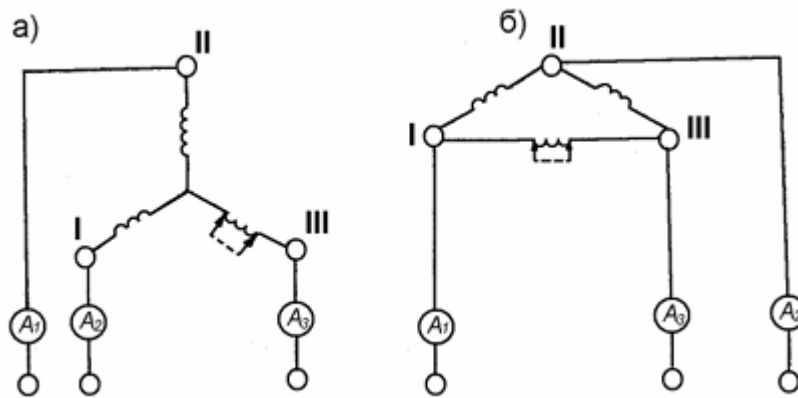


Рисунок. 2.1 - До встановлення замикання фаз: а- включення по схемі «зірка», б- включення по схемі «трикутник»

Фазу, що має замикання, можна визначити шляхом вимірювання опору постійному струму. Для цього застосовують:

- місткові схеми;
- метод амперметра і вольтметра.

Фаза з пошкодженням має менший опір у порівнянні зі справними.

У випадках, коли немає можливості роз'єднати окремі фази, проводять вимірювання міжфазних опорів:

- при з'єднанні обмотки «зіркою» найбільший опір спостерігається між справними фазами, а два інші значення будуть меншими й рівними між собою;
- при з'єднанні обмотки «трикутником» найменший опір буде зафіксований на кінцях фази з замиканням, тоді як два інші значення будуть більшими та однаковими.

Локалізація дефектних котушок

Для точнішого визначення котушкових груп із замиканням використовують живлення змінним струмом:

- якщо підключити всю обмотку або лише дефектну фазу, пошкоджені котушки можна визначити за підвищеним нагрівом та зменшеним спаданням напруги на їхніх кінцях;
- для зручності вимірювання застосовують спеціальні щупи, які дозволяють проколювати ізоляцію та вимірювати локальні значення напруги;
- додатково використовують метод вимірювання опору постійному струму, що підтверджує наявність пошкодження у конкретній котушці.

Таким чином, комбінація вимірювань опору, аналізу нагріву та розподілу напруги дозволяє достовірно локалізувати несправність в обмотці електричної машини.

Виявлення замикань обмоток на корпус

Замикання обмотки на корпус – одна з найнебезпечніших несправностей електричних машин, яка може призвести до аварійного відключення або пошкодження ізоляції. Для локалізації дефектної секції застосовують кілька методів:

1. Метод «прожигання»
 - Один кінець фази приєднують до полюса мережі, інший – через запобіжник з'єднують із корпусом.
 - У місці замикання виникає іскріння чи поява диму, що вказує на дефект.
 - Напругу підвищують поступово до моменту пробною ізоляції.
2. Метод розподілу на частини (з використанням мегометра)
 - Спочатку мегометром визначають фазу, замкнену на корпус.
 - Далі обмотку розділяють на дві частини шляхом розпаювання міжкатушкових з'єднань.
 - Повторним вимірюванням встановлюють, у якій частині є пошкодження.
 - Процес продовжують, доки не буде знайдено дефектну катушкову групу або окрему катушку.
3. Метод випробувального електромагніта і сталеві пластинки (рис. 2.2)
 - Один з кінців пошкодженої фази з'єднують із корпусом, утворюючи короткозамкнений контур.
 - До внутрішнього розточення статора підносять випробувальний електромагніт. У замкненому контурі індукується струм, що створює локальне магнітне поле.
 - Сталеву пластинку по черзі прикладають до пазів: у місцях, де протікає струм, вона притягується; де магнітне поле зникає – виявляється границя пошкодженої секції.
 - Замість електромагніта можна застосувати акумуляторну батарею – струм протікатиме безпосередньо від джерела.

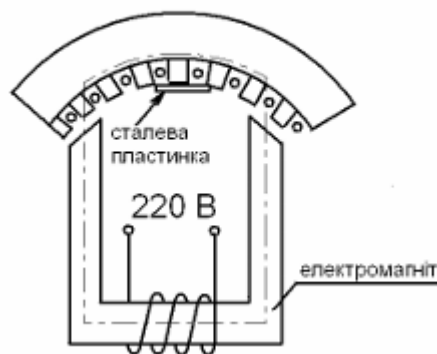


Рисунок 2.2 - Схема пошуку короткозамкненої секції обмотки статора за допомогою випробувального електромагніта та сталеві пластинки

4. Метод постійного струму

- Використовується для точного вимірювання опору ізоляції обмотки відносно корпусу.
- Ділянка з дефектом покаже значно занижене значення опору.

Призначення:

Метод постійного струму застосовується для виявлення місця пробією ізоляції обмотки електричної машини на корпус. Він базується на вимірюванні опору ізоляції або на аналізі падіння напруги в пошкодженій ділянці.

Принцип дії:

1. До досліджуваної обмотки прикладають напругу постійного струму від зовнішнього джерела (акумуляторна батарея, випрямляч, лабораторний блок живлення).

2. Один полюс джерела під'єднують до виводу фази, інший – до корпусу машини.

3. При справній ізоляції через коло тече мізерний струм (у межах мікроамперів – міліамперів), який відповідає високому опору ізоляції (сотні кОм – МОм).

4. Якщо ж у певній секції стався пробій на корпус, опір значно зменшується, і через коло проходить більший струм. Це дозволяє локалізувати пошкодження.

Порядок виконання:

1. За допомогою мегомметра визначають фазу, яка має замикання на корпус.

2. Підключають джерело постійного струму до цієї фази.

3. Обмотку розділяють на частини (розпаюють міжкатушкові з'єднання).

4. Вимірюють струм або напругу на кожній ділянці. Ділянка, яка має пробій, показує менший опір і більший струм.

5. Подальший поділ дозволяє звузити область пошуку до окремої катушкової групи або катушки.

Переваги методу:

- простота реалізації;
- можливість локалізувати дефект із високою точністю;
- використання доступних джерел постійного струму.

Недоліки:

- метод вимагає від'єднання та розподілу обмотки на частини;
- є ризик додаткового пошкодження ізоляції при застосуванні надмірної напруги;
- не дає інформації про стан усієї ізоляції, а лише дозволяє виявити місце пробією.

5. Метод магнітної стрілки

- Ґрунтується на спостереженні за відхиленням стрілки у місцях протікання струму в короткозамкненому контурі.
- Використовується як допоміжний спосіб для підтвердження місця пошкодження.

Принцип дії:

1. Якщо в обмотці відбулося замикання на корпус, то при підключенні джерела струму через цю обмотку утворюється короткозамкнений контур.

2. Через контур протікає струм, який створює локальне магнітне поле.

3. Якщо вздовж пазів статора переміщати магнітну стрілку, то вона буде відхилятися у зонах, де протікає струм.

4. У місці дефекту стрілка фіксує межу, де магнітне поле зникає, що вказує на пошкоджену секцію.

Порядок виконання:

1. Один з виводів пошкодженої фази під'єднують до корпусу, утворюючи замкнутий контур.

2. У коло подають постійний струм від акумулятора чи випрямляча.

3. Уздовж пазів статора переміщують невелику магнітну стрілку.

4. У зонах, де протікає струм, стрілка різко відхиляється. Коли стрілка перестає реагувати – це свідчить про місце пробою ізоляції.

Переваги методу:

- простота й наочність;
- відсутність потреби у складному обладнанні;
- можливість швидко визначити пошкоджену ділянку.

Недоліки:

- невисока точність (метод дає лише приблизне місце пошкодження);
- чутливість результату до сторонніх магнітних полів;
- потреба у початковому досвіді роботи з методом.

Обов'язковим етапом перед застосуванням будь-якого методу є перевірка мегомметром для визначення фази, замкненої на корпус, після роз'єднання або розпайки обмоток.

Виявлення обривів обмоток

Обрив обмотки є поширеним видом пошкоджень електричних машин, який призводить до порушення симетрії струмів і неможливості нормальної роботи двигуна.

Ознаки обриву:

- при «прозвонюванні» кола відсутній електричний контакт у пошкодженій фазі;
- у трифазних машинах дефектна фаза визначається:

- шляхом перевірки кожної фази окремо (для з'єднання «трикутник»);
- або попарним вимірюванням опорів між фазами (для з'єднання «зірка»);
 - при неправильному підключенні фази («перевернуте» з'єднання – початок і кінець переплутані) двигун працює з гучним шумом, струми у фазах зростають і перевищують номінальні значення.

Методи виявлення:

1. Прозвонювання кола

○ Найпростіший спосіб – перевірка цілісності кола звичайним омметром або пробником.

○ Дефектна фаза не показує проходження струму.

2. Мегомметр або контрольна лампа

○ Застосовуються для перевірки цілісності обмотки і правильності маркування виводів.

○ Дають змогу визначити початок і кінець фаз.

3. Амперметр і вольтметр постійного струму

○ Використовуються для точного визначення початків і кінців фаз.

○ Якщо при замиканні кола вольтметр відхиляється вправо – початок фази підключений правильно (до мінуса вольтметра). Якщо вліво – підключення виконане невірно.

4. Метод поступового розбирання переходів між секціями

○ Виконується аналогічно пошуку замикання на корпус, але перевіряється не опір до землі, а цілісність мідного провідника в обмотці.

○ Після кожного розпаювання перевіряють, чи зберігається коло. У місці обриву коло переривається.

5. Метод «мегомметр + голка»

○ Один вивід мегомметра під'єднують до початку дефектної фази.

○ Другий – через провідник з голкою. Голкою проколюють ізоляцію на переходах між секціями.

○ Починаючи з початку фази, поступово перевіряють перехід за переходом.

○ Дефектна секція визначається по першій точці, де відсутня електрична неперервність кола.

Визначення виводів трифазних обмоток

Згідно з ДЕРЖСТАНДАРТ 183-74, виводи обмоток електричних машин позначаються таким чином:

• Статорні обмотки змінного струму – буквою «С».

○ початки фаз: С1, С2, С3;

○ кінці фаз: С4, С5, С6;

○ «0» – вивід від нульової точки (при з'єднанні «зіркою»).

• Роторні обмотки – буквою «Р».

○ початки фаз: Р1, Р2, Р3;

- нульова точка – «0».

Помилки у підключенні

Якщо під час з'єднання переплутати початок і кінець однієї з фаз («перевернена» фаза), то двигун:

- погано розганяється;
- працює з гучним шумом;
- має асиметрію струмів, які перевищують номінальні значення.

Методи перевірки маркування

1. Метод постійного струму (акумулятор + вольтметр, рис. 2.3, а):

- джерело постійного струму підключають до однієї з фаз (плюс – до початку, мінус – до кінця);
- вольтметр постійного струму приєднують послідовно до двох інших фаз;
- якщо при замиканні кола стрілка відхиляється вправо – початок другої фази з'єднаний з «мінусом» вольтметра;
- таким чином визначають початки і кінці всіх фаз.

2. Метод змінного струму зниженої напруги (рис. 2.3. б):

- спочатку визначають свої виводи фаз за допомогою мегомметра чи контрольної лампи та тимчасово маркують (1–4; 2–5; 3–6);
- дві довільні фази з'єднують послідовно й підключають до мережі;
- до третьої фази приєднують вольтметр змінного струму або лампу;
- перемикаючи виводи другої фази, добиваються такого з'єднання, за якого напруга у третій фазі дорівнює нулю (кінці з'єднаних фаз збігаються);
- за аналогією маркують і третю фазу.

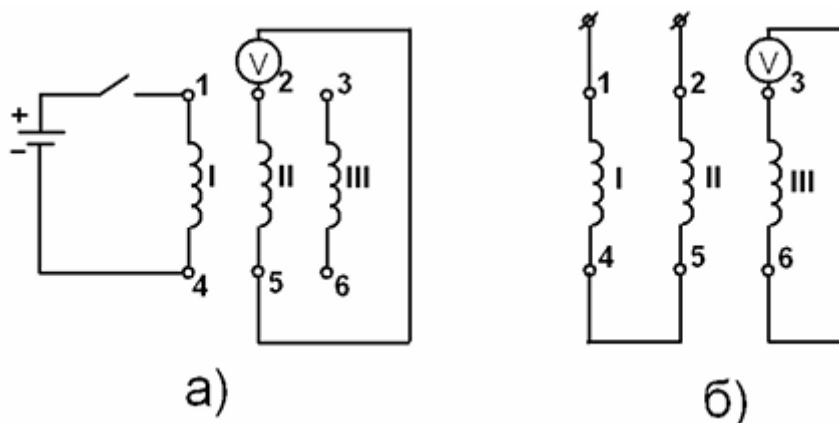


Рисунок 2.3 - До маркування виводів трьохфазних обмоток

Балансування роторів.

Однією з основних причин підвищеної вібрації електричних машин та механізмів є нерівноваженість роторів (наприклад, робочих коліс шахтних вентиляторів).

Причини нерівноваженості:

- нерівномірний розподіл маси по колу ротора через наявність раковин чи дефектів лиття;
- похибки складання;
- ексцентричне розточування втулок робочих коліс;
- ексцентриситет валів та інші виробничі дефекти.

Наслідки підвищених вібрацій:

- прискорений знос підшипників та деталей;
- руйнування фундаментів та опор;
- порушення центрування механізмів;
- аварійні зупинки обладнання.

Теоретичні положення

Ротор, що обертається, під дією відцентрових сил викликає коливання з певним зсувом фаз між напрямком відцентрової сили і напрямком амплітуди вібрації.

- При низьких швидкостях напрямки сили та амплітуди майже співпадають.
- Із зростанням швидкості обертання кут фазового зсуву φ збільшується. (рис. 2.4 а).
- При критичній швидкості (резонанс) кут $\varphi = 90^\circ$, амплітуда вібрації різко зростає. (рис. 2.4 б).
- При швидкості, що перевищує критичну, кут φ наближається до 180° , а амплітуда зменшується. (рис. 2.4 в).

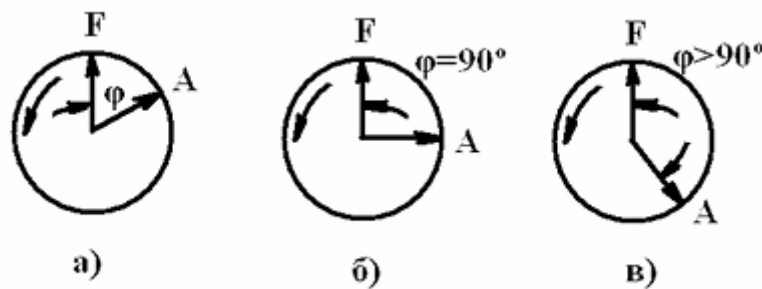


Рисунок 2.4 - Фази вібрацій

Види нерівноваженості:

- Статична – центр ваги зміщений відносно осі обертання. Виявляється навіть у стані спокою, коли ротор самоповертається у положення найнижчої точки.

• Динамічна – виникає при обертанні ротора за рахунок дії пари відцентрових сил, які взаємно врівноважуються у стані спокою, але створюють вібраційні навантаження на підшипники при роботі.

У практиці найчастіше зустрічається комбінована статична і динамічна неврівноваженість.

Балансування:

• Статичне балансування – усунення зсуву центра ваги відносно осі обертання. Виконується у нерухомому стані ротора.

• Динамічне балансування – визначення величини і місця встановлення балансувальних вантажів під час обертання ротора. Воно є більш точним і дозволяє усунути неврівноваженість будь-якого виду.

Принцип динамічного балансування базується на тому, що амплітуда вібрацій пропорційна відцентровим силам, а зсув фаз залишається сталим при постійній частоті обертання.

Методика розрахунку асинхронного короткозамкненого двигуна.

Номінальний струм двигуна

$$I_{nom} = \frac{1000 \cdot P_{nom}}{\sqrt{3} U_{nom} \cos \varphi_{nom} \cdot \eta_{nom}}, \text{ A}$$

де P_{nom} – номінальна потужність двигуна (потужність на валу), кВт;
 η_{nom} – номінальний коефіцієнт корисної дії, $\cos \varphi_{nom}$ – номінальний коефіцієнт потужності U_{nom} , – номінальна лінійна напруга 380 В.

Номінальний момент двигуна визначається:

$$M_{nom} = \frac{9550 \cdot P_{nom}}{n_{nom}} = \frac{P_{nom}}{\omega_{nom}}, \text{ Нм}$$

де P_{nom} – номінальна потужність двигуна (потужність на валу), кВт;
 n_{nom} – частота обертання ротора при номінальному навантаженні, об./хв;
 ω_{nom} – кутова частота обертання ротора при номінальному навантаженні, рад/с.

$$\omega_{nom} = \frac{2\pi \cdot n_{nom}}{60} = \frac{\pi \cdot n_{nom}}{30}, \text{ рад/с, с}^{-1}$$

Номінальна швидкість визначається:

$$n_{nom} = n_1 - n_1 s_{nom}, \text{ об./хв}$$

де s_{nom} – номінальне ковзання двигуна.

Споживана потужність двигуном з мережі визначається:

$$P_1 = \frac{\sqrt{3}U_{nom}I_{nom}}{\cos\varphi_{nom} \cdot \eta_{nom}} \cdot 10^{-3}, \text{кВт}$$

де η_{nom} - номінальний коефіцієнт корисної дії, $\cos\varphi_{nom}$ - номінальний коефіцієнт потужності

Номінальне ковзання визначається:

$$s_{nom} = \frac{n_1 - n_{nom}}{n_1}$$

де n_1 – синхронна частота обертання магнітного поля, об./хв.

Синхронна частота обертання (частота обертання поля машини):

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}, \text{об./хв}$$

де f_1 – частота мережі, Гц; p – кількість пар полюсів.

Ряд синхронних частот обертання (при частоті мережі 50 Гц):

3000 , 1500, 1000, 750, 600, 500 і т.п. (об./хв), кількість пар полюсів 1, 2, 3,4, 5, 6.

2.2 Програма роботи

1. Ознайомитися з основними видами пошкоджень електричних машин (перегрів, міжвиткові замикання, замикання на корпус, обриви, знос підшипників).
2. Проаналізувати подані схеми підключення обмоток за схемами «зірка» і «трикутник», визначити ознаки замикання за показами струмів.
3. Розглянути методи визначення міжвиткових замикань (опір постійному струму, амперметр-вольтметр, міжфазні опори).
4. Опрацювати методи діагностики замикань обмоток на корпус (прожигання, розподілення на частини, випробувальний електромагніт, постійний струм, магнітна стрілка).
5. Вивчити методи визначення обривів обмоток («прозвонювання», мегомметр, амперметр-вольтметр, метод «мегомметр + голка»).
6. Ознайомитися з методами перевірки та маркування виводів трифазних обмоток.

7. Розглянути види неврівноваженості роторів (статична, динамічна) та методи їх усунення.

8. Виконати розрахунок основних параметрів асинхронних двигунів серії 4АМ (номінальний струм, момент, швидкість, споживана потужність, ковзання) за паспортними даними.

9. Узагальнити результати роботи у вигляді таблиці та зробити висновки щодо застосування методів діагностики та балансування у практиці експлуатації електричних машин.

2.3. Завдання та вихідні данні

Ознайомитися з номінальними даними трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, що досліджується, за якими розрахувати

- номінальний струм – I_{nom} ;
- номінальний момент – M_{nom} ;
- номінальна швидкість обертання – n_{nom} ;
- номінальну частоту обертання - ω_{nom}
- споживану потужність – P_{1nom} ;
- кількість полюсів – $2p$.

При розрахунках прийняти, що частота мережі складає 50 Гц. Номінальні дані двигуна та результати розрахунку занести в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. - Номінальні данні асинхронного двигуна та результати розрахунку

Номінальні данні двигуна							Розрахункові дані				
P_{nom}	U_{nom}	n_1	η_{nom}	$\cos\varphi_{nom}$	f_1	S_{nom}	n_{nom}	I_{nom}	ω_{nom}	P_{1nom}	M_{nom}
кВт	В	Об/хв В	%		Гц	В.о.	Об/хв	А	с ⁻¹	кВт	Нм
		3000									
		1500									
		1000									
		750									

Завдання по посиланню [Каталог електричних даигунів 4А и 4АМ - характеристики.](#) взяти данні двигунів серії 4АМ однакової потужності по кожній швидкості (3000, 1500, 1000, 750 об/хв) обертання та розрахувати параметри

2.4. Критерії оцінювання

Підготовлена згідно робота у форматі файлу *.docx або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle. Оскарження оцінки

може бути здійснене не пізніше двох тижнів з моменту оцінювання роботи.

Максимум балів за роботу 5 балів.

Розподіл балів за виконання практичної роботи:

- 81-100 % від макс. балів – повна відповідність попередньому критерію, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
- 61-80 % від макс. балів – всі досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;
- 41-60 % від макс. балів – досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
- 21-40 % від макс. балів – у досліді/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
- 1-20% від макс. балів – у досліді/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.

2.5. Питання для перевірки

1. Які основні види пошкоджень обмоток електричних машин?
2. У чому полягає відмінність між міжвитковим та міжфазним замиканням?
3. Які ознаки перегріву обмоток?
4. Як визначити фазу з міжвитковим замиканням при з'єднанні обмоток за схемою «зірка»?
5. Як визначити фазу з замиканням при з'єднанні за схемою «трикутник»?
6. У чому полягає метод «розподілу на частини» для пошуку замикання на корпус?
7. Опишіть принцип дії методу постійного струму при пошуку пошкодженої секції.
8. У чому полягає метод магнітної стрілки?
9. Які існують способи виявлення обривів обмоток?
10. Як перевірити правильність маркування виводів трифазних обмоток?
11. У чому різниця між статичною і динамічною невідповідністю ротора?
12. Чим відрізняється статичне балансування від динамічного?

13. Які наслідки може спричинити робота ротора у стані резонансу?

14. Які основні параметри асинхронного двигуна необхідно розрахувати за його паспортними даними?

2.6. Перелік рекомендованої літератури

1. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навч. посіб. / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 173 с.

2. Експлуатація та монтаж електрообладнання: методичні вказівки для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація та монтаж електрообладнання» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад.: Р. В. Телюта, О. А. Козловський, В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 200 с.

3. Монтаж і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форми навчання / уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2020. 48 с.

4. Циганов О. М., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій. Миколаїв, 2022, 160 с.

5. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навчальний посібник / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2011. 137 с.

6. Чорна В. В., Чорний С. В. Технологія електромонтажних робіт : підручник. Харків : Компанія СМІТ, 2014. 288 с.

7. Монтаж енергообладнання та систем керування : навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / М. П. Кунденко та ін. Харків : ХНТУСГ, 2017. Ч. I. 282 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. МЕТОДИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ. ПРАКТИЧНА ПЕРЕВІРКА РІЗНИХ СПОСОБІВ (ЗМІНА НАПРУГИ, ЧАСТОТИ, ОПОРУ, ІМПУЛЬСНЕ КЕРУВАННЯ), ОЦІНКА ВПЛИВУ НА РОБОТУ ДВИГУНА.

Мета роботи. Ознайомитися з основними методами регулювання швидкості електроприводу, вивчити принципи зміни швидкості обертання електродвигунів при зміні напруги, частоти, опору та при імпульсному (ШІМ) керуванні. Навчитися аналізувати вплив кожного способу регулювання на характеристики електроприводу, оцінювати їх енергоефективність, плавність, точність та стабільність роботи.

Сформувати практичні навички вибору оптимального методу регулювання швидкості для конкретного типу механізму (насос, вентилятор, конвеєр, підймальний пристрій тощо) з урахуванням вимог до технологічного процесу, енергоспоживання та надійності роботи обладнання.

3.1. Основі теоретичні відомості

Загальні положення

Регулювання швидкості обертання електроприводу — один із ключових аспектів управління електромеханічними системами. Воно дозволяє змінювати продуктивність технологічних машин, знижувати енергоспоживання, підвищувати якість процесу та забезпечувати плавність пуску й гальмування.

Швидкість обертання електродвигуна визначається як:

$$n = \frac{60f(1 - s)}{p},$$

де f — частота живильної напруги, Гц;

p — кількість пар полюсів;

s — ковзання двигуна.

Зміна будь-якого з цих параметрів (f , s , p) або величини прикладеної напруги U призводить до зміни швидкості двигуна. На практиці для керування використовують такі основні методи:

1. зміна напруги живлення;
2. зміна частоти живлення;
3. зміна опору у колі ротора (для двигунів з фазним ротором);
4. імпульсне (широтно-імпульсне, ШІМ) керування.

Регулювання швидкості зміною напруги живлення

Цей спосіб застосовується головним чином для асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, коли зменшення напруги на статорі

призводить до пропорційного зменшення електромагнітного моменту двигуна.

Залежність моменту від напруги описується формулою:

$$M \propto \frac{U^2}{R^2 + (sX)^2}.$$

Отже, при зниженні напруги у два рази момент зменшується у чотири рази, що обмежує використання цього способу лише в механізмах з невеликим моментом навантаження (вентилятори, мішалки, приводи допоміжних механізмів).

Переваги:

- простота реалізації (через автотрансформатор, тиристорний регулятор, симісторну схему);
- низька вартість.

Недоліки:

- значні втрати потужності при зниженій напрузі;
- зменшення моменту і, як наслідок, нестабільна робота під навантаженням;
- непридатність для приводів з високими моментами.

Регулювання швидкості зміною частоти живильної напруги

Це найбільш ефективний і універсальний метод сучасного електроприводу. Частота визначає синхронну швидкість обертання:

$$n_0 = \frac{60f}{p}.$$

При зміні частоти живлення змінюється швидкість обертання ротора. Щоб зберегти сталий магнітний потік у сталі двигуна, необхідно змінювати напругу пропорційно частоті (так званий закон $U/f = const$).

Частотне регулювання реалізується за допомогою частотних перетворювачів (VFD). Вони формують трифазну напругу змінної частоти за рахунок широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Переваги:

- широкий діапазон плавного регулювання (1:50 і більше);
- висока енергоефективність;
- стабільність обертів при зміні навантаження;
- можливість реалізації плавного пуску, гальмування та захистів двигуна.

Недоліки:

- складність і висока вартість обладнання;
- потреба у фільтрації гармонік і правильному підборі двигуна.

Типові області застосування: насосні станції, вентилятори, компресори, конвеєри, крани, млини, металургійні приводи.

Регулювання швидкості зміною опору в колі ротора

Цей метод застосовується для асинхронних двигунів з фазним ротором. В роторне коло послідовно вмикаються додаткові реостати, опір яких регулює ковзання двигуна.

Зі збільшенням опору ковзання s зростає, тому зменшується швидкість обертання. Механічна характеристика при цьому стає більш "м'якою", що дозволяє отримати плавний пуск або короткочасне регулювання швидкості.

Переваги:

- простота реалізації;
- можливість плавного регулювання без складної електроніки;
- підвищення моменту пуску.

Недоліки:

- значні втрати енергії на нагрівання додаткового опору;
- неможливість тривалого використання через низький ККД;
- обмежений діапазон регулювання.

Застосування: механізми підйому вантажів, крани, елеватори, дробарки, де важливий великий пусковий момент.

Імпульсне (широтно-імпульсне) керування

Метод ШІМ (PWM – Pulse Width Modulation) полягає у подачі на двигун серії імпульсів напруги фіксованої частоти, але змінної тривалості.

Середнє значення напруги визначається коефіцієнтом заповнення імпульсу:

$$U_{cp} = k_3 \cdot U_{max}$$

де $k_3 = \frac{t_{imp}}{T}$ – відношення тривалості імпульсу до періоду.

ШІМ використовується для керування електродвигунами постійного струму, а також у частотних перетворювачах змінного струму. Він забезпечує плавну зміну напруги без істотних втрат потужності.

Переваги:

- висока точність і швидкодія;
- економічність (мінімальні втрати);
- можливість цифрового керування через мікроконтролери або

PLC.

Недоліки:

- складність схемотехніки;

- наявність високочастотних гармонік, що потребують фільтрації;
 - підвищені вимоги до ізоляції двигуна.
- Застосування: серводвигуни, привод подачі верстатів, конвеєри, системи автоматичного керування положенням.

Таблиця 3.1 - Порівняльна характеристика методів регулювання швидкості


Метод регулювання	Ефективність	Плавність	Складність	Тип двигуна	Сфера застосування
Зміна напруги	Низька	Обмежена	Проста	АД з КЗ ротором	Вентилятори, мішалки
Зміна частоти	Висока	Висока	Середня / складна	АД, СД	Насоси, конвеєри, компресори
Зміна опору ротора	Середня	Задовільна	Проста	АД з фазним ротором	Підіймальні механізми
Імпульсне керування	Висока	Дуже висока	Складна	ДПС, інверторні системи	Прецизійні приводи, автоматика

Таблиця 3.2 - Значення для порівняння (за 5-бальною шкалою)

Метод	Енергоефективність	Плавність	Точність	Діапазон	Складність	Вартість
Зміна напруги	2	2	2	1	1	1
Зміна частоти	5	5	5	5	4	4
Опір у роторі	3	3	3	2	2	2
Імпульсне (ШІМ)	5	5	5	4	5	4

Висновки

- Найбільш енергоефективним і універсальним методом є частотне регулювання, яке дозволяє реалізувати плавний пуск, стабільну швидкість і економію енергії.
- Зміна напруги доцільна лише у простих, малопотужних приводах без високих вимог до стабільності.
- Реостатне регулювання — застарілий, але простий спосіб, придатний для підйомно-транспортних механізмів.



- Імпульсне керування використовується переважно у сучасних цифрових системах, де потрібна висока точність і швидкість регулювання.

Таким чином, вибір методу регулювання залежить від типу електродвигуна, технологічного процесу, вимог до точності, плавності й економічності приводу.

3.2 Програма роботи

Ознайомитись із принциповими схемами регулювання швидкості електроприводу.

- Провести підготовку установки: перевірити схему живлення, підключення двигуна, вимірювальних приладів та регулювальних елементів.

Послідовно провести дослідження:

- регулювання швидкості зміною напруги живлення;
- регулювання швидкості зміною частоти (на базі частотного перетворювача);
- регулювання зміною опору в колі ротора;
- імпульсне керування двигуном.

За кожного способу зафіксувати:

- напругу, струм, частоту обертання, момент навантаження;
- побудувати залежність швидкості від керуючого параметра (U , f , R , коеф. заповнення).

Провести порівняльний аналіз методів за критеріями:

- енергоефективність;
- стабільність швидкості;
- плавність регулювання;
- складність реалізації.

Зробити висновки щодо доцільності застосування кожного методу для різних типів механізмів (насоси, вентилятори, конвеєри, підіймальні механізми).

3.3. Завдання та вихідні данні

1. Для заданого типу механізму (згідно варіанту табл. 3.3.) обрати відповідний тип електродвигуна та метод регулювання швидкості.

2. Проаналізувати можливість використання кожного із способів регулювання (зміна напруги, частоти, опору, імпульсне керування).

3. Визначити, який метод є оптимальним з точки зору:

- енергоефективності;
- плавності регулювання;
- стабільності швидкості;

- надійності та вартості реалізації.

4. Розрахувати необхідну швидкість двигуна для заданих умов і оцінити вплив зміни керуючих параметрів.

5. Зробити висновок про доцільність застосування конкретного способу в промислових умовах.

Таблиця 3.3 - Варіанти завдань

№ вар	Тип механізму	Тип двигуна	Робочий діапазон швидкості, об/хв	Навантаження (тип моменту)	Рекомендований метод регулювання	Додаткові вихідні дані
1	Вентилятор охолодження печі	Асинхронний, К3 ротор	600–1450	Пропорційне швидкості ²	Зміна частоти (V/f)	Потужність 5,5 кВт, U _n =380 В, f _n =50 Гц
2	Насос циркуляційний	Асинхронний, К3 ротор	700–1450	Пропорційне швидкості ³	Частотне регулювання	P=7,5 кВт, Q=50 м ³ /год
3	Конвеєр лінії подачі сировини	Асинхронний з фазним ротором	900–1500	Стійке (постійне)	Зміна опору в колі ротора	P2=11 кВт, R _{доп} =0–10 Ом
4	Механізм підйому вантажів	Асинхронний з фазним ротором	600–1200	Постійне навантаження	Зміна опору ротора / частоти	M=70 Н·м, P _n =15 кВт
5	Гвинтовий компресор	Асинхронний, К3 ротор	800–1450	Постійне	Частотне регулювання	P=18,5 кВт, тиск 6 бар
6	Шнековий транспортер	Асинхронний, К3 ротор	400–900	Пропорційне швидкості	Зміна частоти або напруги	P=3 кВт, R _{нагр} =пост.
7	Подовжній подавач верстата	Двигун постійного струму	0–1500	Постійне	Імпульсне (ШИМ) керування	U _ж =220 В, I _n =15 А
8	Вентилятор аспіраційної установки	Асинхронний, К3 ротор	500–1450	Пропорційне швидкості ²	Зміна частоти	U _n =380 В, f _n =50 Гц
9	Мішалка технологічна	Асинхронний, К3 ротор	300–900	Постійне	Зміна напруги	P=2,2 кВт, I _n =5 А
10	Підймальний кран	Асинхронний з фазним ротором	400–900	Постійне велике навантаження	Зміна опору ротора	M _{кр} =100 Н·м, R _{доп} =5–10 Ом
11	Насос охолодження печі	Асинхронний, К3 ротор	700–1450	Пропорційне швидкості ³	Частотне регулювання	f=30–50 Гц, U=220–380 В
12	Стрічковий конвеєр	Асинхронний, К3 ротор	400–1200	Постійне	Зміна частоти	P=5 кВт, M=32 Н·м
13	Змішувач шихти	Асинхронний, К3 ротор	300–900	Постійне	Зміна напруги	f _n =50 Гц, U _n =380 В
14	Механізм подачі руди	Асинхронний з фазним ротором	600–1200	Постійне	Опір у роторі / частота	P _n =11 кВт
15	Кульовий млин	Асинхронний, К3 ротор	300–800	Велике навантаження	Частотне регулювання	P=30 кВт, f=20–50 Гц
16	Подавач металу	Асинхронний, К3 ротор	400–1000	Постійне	Імпульсне керування	U _{вих} =0–380 В (ШИМ)
17	Вентилятор димососа	Асинхронний, К3 ротор	600–1450	Пропорційне швидкості ²	Частотне регулювання	P=11 кВт, Altivar 630
18	Підймальний механізм крана	Асинхронний з фазним ротором	400–1000	Постійне	Опір у роторі	R _{доп} =5–15 Ом

19	Механізм подачі паливного матеріалу	Асинхронний, КЗ ротор	300–900	Постійне	Зміна частоти	P=4 кВт
20	Транспортер грануляційної лінії	Асинхронний, КЗ ротор	400–1000	Пропорційне швидкості	Частотне регулювання	U _n =380 В, f=25–50 Гц

Для свого варіанту студент має:

1. Визначити тип електроприводу, його основні параметри.
2. Обґрунтувати вибір оптимального способу регулювання.
3. Побудувати графічну залежність швидкості від керуючого параметра (U, f, R, кімп).
4. Порівняти інші методи за таблицею критеріїв ефективності.
5. Зробити висновки (до 10 речень) щодо доцільності застосування вибраного способу в промислових умовах.

3.4. Критерії оцінювання

Звіту повинен містити.

1. Титульний аркуш.
2. Мету роботи.
3. Короткі теоретичні відомості.
4. Характеристика об'єкта дослідження.

Тип механізму за варіантом (насос, вентилятор, конвеєр, підйомник тощо); тип електродвигуна, номінальні параметри (U, f, P, n, I).

5. Вихідні дані та індивідуальне завдання.

Таблиця з вихідними параметрами двигуна, умовами роботи, обраним методом регулювання.

6. Порівняльна таблиця методів регулювання.

Для кожного методу заповнити характеристики: діапазон швидкостей, енергоефективність, плавність, стабільність, складність реалізації, сфера застосування.

7. Графічна частина.

Побудовані залежності швидкості обертання від керуючих параметрів ($n=f(U)$, $n=f(f)$, $n=f(R)$, $n=f(k)$). Для практичної роботи без вимірювань — аналітична або якісна форма графіків.

8. Аналітична таблиця “Переваги – Недоліки”.

Короткий аналіз кожного способу регулювання.

9. Висновки

- порівняння результатів;
- визначення найдоцільнішого способу регулювання для конкретного механізму;
- оцінка енергетичної доцільності та стабільності роботи електроприводу.

10. Відповіді на контрольні питання.

Підготовлена згідно робота у форматі файлу *.docx або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle. Оскарження оцінки може бути здійснене не пізніше двох тижнів з моменту оцінювання роботи.

Максимум балів за роботу 5 балів.

Розподіл балів за виконання практичної роботи:

- 81-100 % від макс. балів – повна відповідність попередньому критерію, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;

- 61-80 % від макс. балів – всі дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;

- 41-60 % від макс. балів – дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;

- 21-40 % від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;

- 1-20% від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.

3.5. Питання для перевірки

1. Які основні методи регулювання швидкості електроприводу ви знаєте?

2. У чому полягає принцип регулювання швидкості зміною напруги живлення?

3. Як зміна частоти живлення впливає на швидкість обертання асинхронного двигуна?

4. Чому при зменшенні напруги знижується обертовий момент двигуна?


5. У яких випадках доцільно використовувати регулювання швидкості зміною опору в колі ротора?

6. Які недоліки має реостатне регулювання швидкості двигуна з фазним ротором?

7. Поясніть суть частотного (V/f) керування електроприводом.

8. Що таке широтно-імпульсне (ШІМ) керування і де воно застосовується?

9. Як співвідносяться частота, момент і струм двигуна при частотному регулюванні?



10. Які переваги має використання частотного перетворювача Altivar у системах керування швидкістю?

11. Як змінюється енергоспоживання двигуна при різних способах регулювання швидкості?

12. Який метод забезпечує найвищу плавність і точність регулювання швидкості?

13. У чому полягає принцип енергоефективності при частотному регулюванні вентиляторів і насосів?

14. Як вибрати оптимальний метод регулювання для конкретного типу механізму?

15. Які фактори впливають на вибір способу регулювання швидкості (технічні, економічні, експлуатаційні)?

3.6. Перелік рекомендованої літератури

1. Експлуатація та монтаж електрообладнання: методичні вказівки для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація та монтаж електрообладнання» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад.: Р. В. Телюта, О. А. Козловський, В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 200 с.

2. Монтаж енергообладнання та систем керування : навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / М. П. Кунденко та ін. Харків : ХНТУСГ, 2017. Ч. I. 282 с.

3. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навчальний посібник / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2011. 137 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ. ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ, ВТРАТ ХОЛОСТОГО ХОДУ ТА КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ, ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ.

Мета роботи. Набути практичних навичок аналізу технічного стану силових трансформаторів у процесі експлуатації на основі розрахункових та діагностичних даних. Закріпити знання принципів вимірювання опору ізоляції, втрат холостого ходу та короткого замикання. Навчитися визначати показники енергоефективності трансформатора (втрати потужності, ККД, струм холостого ходу), оцінювати стан ізоляції та магнітопроводу, виявляти можливі дефекти за результатами аналізу вимірювань і формувати рекомендації щодо подальшої експлуатації або ремонту.

4.1. Основі теоретичні відомості

Трансформатор — це електромагнітний пристрій, призначений для перетворення змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги при збереженні частоти. Його ефективна робота визначається електричними, тепловими та ізоляційними характеристиками, які під час експлуатації змінюються під впливом навантаження, старіння матеріалів і умов охолодження.

Для оцінки технічного стану трансформатора виконують діагностичні перевірки, спрямовані на вимірювання основних параметрів, що характеризують стан обмоток, магнітопроводу та ізоляції.

Контроль технічного стану трансформатора

У процесі експлуатації контролюються такі основні параметри:

- опір ізоляції обмоток і магнітопроводу;
- втрати холостого ходу (P_0) і струм холостого ходу (I_0);
- втрати короткого замикання (P_k);
- опір обмоток постійному струму;
- коефіцієнт корисної дії (η).

Зниження опору ізоляції або збільшення втрат вказують на зношення або пошкодження елементів трансформатора, що потребує технічного обслуговування або ремонту.

Вимірювання опору ізоляції

Опір ізоляції (R_{i3}) характеризує електричну міцність між обмотками та корпусом трансформатора. Він вимірюється мегомметром при нарузі 1000...2500 В.

Нормативні вимоги:

- для трансформаторів напругою до 1 кВ – не менше 1 МОм на кожен кіловольт номінальної напруги;
- для трансформаторів напругою понад 1 кВ – не менше 100 МОм;

- зменшення опору у 2–3 рази порівняно з початковим свідчить про зволоження або старіння ізоляції.

Таблиця 4.1 - Оцінка стану ізоляції

Стан ізоляції	Опір, МОм
Норма (суха)	> 100
Допустимий (зволожена)	20–100
Аварійний (пошкоджена)	< 20

Дослідження режиму холостого ходу

Режим холостого ходу — це робота трансформатора при підключеній первинній обмотці до номінальної напруги, але без навантаження на вторинній стороні (вторинна обмотка розімкнена).

У цьому режимі споживається невелика потужність P_0 , яка йде на покриття втрат у магнітопроводі:

- втрати від гістерезису (залежні від матеріалу сталі та частоти);
- втрати від струмів Фуко (вихрових струмів);
- втрати на магнітне розсіювання.

Вимірювальні параметри:

- напруга U_1 (номінальна);
- струм холостого ходу I_0 ;
- потужність втрат P_0 .

Основні співвідношення:

$$P_0 = U_1 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0$$

де $\cos \varphi_0 \approx 0,1 \dots 0,2$ — низький, через переважання реактивного струму.

Струм холостого ходу зазвичай становить 1–3% від номінального струму:

$$I_0 \% = \frac{I_0}{I_n} \cdot 100\%$$

Підвищення I_0 або P_0 свідчить про:

- розмагнічування або перегрів сталі;
- короткозамкнені листи магнітопроводу;
- зсув ярма або порушення зібраності осердя.

Дослідження режиму короткого замикання

Режим короткого замикання — це коли вторинна обмотка замкнена накоротко, а до первинної подається така напруга U_k , за якої через обмотки проходить номінальний струм.

У цьому режимі магнітний потік у сердечнику дуже малий, тому втрати у сталі можна знехтувати — всі втрати належать міді.

Вимірювальні параметри:

- напруга короткого замикання U_k ;
- струм $I_k = I_n$;
- потужність втрат P_k .

Розрахунок:

$$P_k = U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi_k$$

де $\cos \varphi_k \approx 0,8 \dots 0,9$.

Втрати короткого замикання пропорційні квадрату струму:

$$P_{Cu} \propto I^2$$

Підвищення P_k свідчить про:

- збільшення опору обмоток через перегрів або погані контакти;
- часткові короткі замикання між витками;
- механічні зміщення обмоток після коротких замикань у мережі.

Визначення опору обмоток постійному струму

Опір обмоток $2R_1$, R_2 визначається для виявлення несиметрії фаз або порушень у сполуках. Вимірюється за допомогою омметра або методом амперметра-вольтметра.

Розрахунок:

$$R = \frac{U}{I}$$

Різниця опорів між фазами не повинна перевищувати 2–3%.

Збільшення опору свідчить про ослаблені з'єднання або нагрів провідників.

Розрахунок коефіцієнта корисної дії (ККД)

ККД показує частку переданої потужності, що не перетворюється у втрати:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + P_k}$$

Де

$$P_2 = S_n \cdot \cos \varphi \cdot k$$

а k — відносне навантаження (0...1).

Типові значення ККД:

- для малих трансформаторів (10–25 кВА) — 0,94–0,96;
- для середніх (63–400 кВА) — 0,97–0,985;

- для великих (понад 630 кВА) — 0,99 і вище.

ККД доцільно обчислювати для кількох режимів навантаження (0,25; 0,5; 0,75; 1,0), щоб побудувати графік залежності $\eta=f(I/I_n)$. Максимальне значення ККД досягається, коли $P_0 = P_k$.

Таблиця 4.2 - Аналіз результатів і виявлення дефектів

Ознака	Ймовірна причина дефекту	Наслідки
Зниження опору ізоляції	Волога, забруднення, старіння	Підвищений струм витoku, пробій ізоляції
Підвищене P_0	Замикання листів магнітопроводу, зсув ярма	Перегрів, шум, підвищені втрати
Підвищене P_k	Погані контакти, міжвиткові замикання	Локальний нагрів, вібрації
Збільшений I_0	Насичення осердя, дефекти сталі	Високі реактивні струми
Різниця R між фазами	Ослаблені з'єднання, різний нагрів	Нерівномірність навантаження

Висновки для практичного аналізу

Порівняння фактичних і розрахункових параметрів дає змогу оцінити:

- енергетичну ефективність трансформатора (через ККД);
- стан ізоляції (через $R_{із}$);
- стан магнітопроводу (через I_0 , P_0);
- стан обмоток (через P_k , R_1 , R_2).

4.2 Програма роботи

1. Ознайомитися зі схемою силового трансформатора та принципом вимірювань основних параметрів.
2. Виконати аналітичне визначення втрат холостого ходу і короткого замикання на основі вихідних даних.
3. Розрахувати опір обмоток постійному струму за поданими результатами вимірювань.
4. Провести оцінку стану ізоляції за виміряним опором.
5. Порівняти розраховані дані з номінальними та зробити висновок про технічний стан трансформатора.

4.3. Завдання та вихідні данні.

1. За таблицею вихідних даних розрахувати:
 - втрати потужності в сталі та міді;
 - ККД трансформатора при номінальному навантаженні;
 - струм холостого ходу (y % від номінального).
2. Визначити опір ізоляції та зробити висновок про її стан (норма: не менше 1 МОм на кожен кіловольт номінальної напруги).
3. Побудувати залежність ККД від навантаження.
4. Зробити висновки щодо технічного стану:

- чи відповідає трансформатор нормативам;
- які можливі дефекти можна запідозрити за відхиленнями параметрів.

Таблиця 4.3 - Вихідні дані (варіанти завдань)

Варіант	Потужність S_n , кВА	U_1/U_2 , В	$\cos\phi$	P_0 , Вт	P_k , Вт	I_0 , %	R_{i3} , МОм
1	10	6000/400	0.85	120	320	2.0	80
2	16	6000/400	0.85	160	420	1.8	70
3	25	10000/400	0.9	220	580	1.6	60
4	40	6000/230	0.85	310	890	1.5	45
5	63	10000/400	0.9	420	1300	1.4	30
6	100	10000/600	0.9	550	1900	1.3	25
7	160	10000/400	0.9	740	2600	1.2	22
8	250	10000/400	0.9	980	3200	1.1	20
9	400	10000/600	0.9	1320	4200	1.0	18
10	630	10000/600	0.9	1820	6100	0.9	15

4.4. Критерії оцінювання

Звіт з практичної роботи повинен містити

1. Тема, мета та короткий опис завдання.
2. Теоретичні положення (коротко).
3. Вихідні дані.
4. Розрахунки втрат, ККД, струму холостого ходу.
5. Графік залежності ККД від навантаження.
6. Оцінка стану ізоляції.
7. Аналіз отриманих результатів, виявлені дефекти.
8. Висновки щодо технічного стану трансформатора.

Підготовлена згідно робота у форматі файлу *.docx або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle. Оскарження оцінки може бути здійснене не пізніше двох тижнів з моменту оцінювання роботи.

Максимум балів за роботу 5 балів.

Розподіл балів за виконання прикличної роботи:

- 81-100 % від макс. балів – повна відповідність попередньому критерію, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
- 61-80 % від макс. балів – всі дослідження/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;

- 41-60 % від макс. балів – дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
- 21-40 % від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
- 1-20% від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.

4.5. Питання для перевірки

1. Яке призначення трансформатора в системах електроприводу та електропостачання?
2. Що є основними вузлами трансформатора і які функції вони виконують?
3. Які параметри контролюють під час експлуатаційних перевірок трансформаторів?
4. Що характеризує опір ізоляції обмоток? Якими приладами він вимірюється?
5. Які нормативні значення опору ізоляції для трансформаторів напругою до 1 кВ та понад 1 кВ?
6. Які фізичні процеси спричиняють втрати холостого ходу?
7. Що характеризує струм холостого ходу і які типові його значення у відсотках від номінального струму?
8. Які види втрат потужності виникають у трансформаторі при короткому замиканні?
9. Чому під час дослід короткого замикання втрати в сталі вважають незначними?
10. Як визначається потужність втрат холостого ходу P_0 ?
11. Як визначається потужність втрат короткого замикання P_k ?
12. У яких випадках спостерігається підвищення втрат холостого ходу?
13. Які ознаки вказують на наявність міжвиткових замикань?
14. Як розраховується коефіцієнт корисної дії (ККД) трансформатора?
15. При якому співвідношенні втрат холостого ходу і короткого замикання ККД досягає максимуму?
16. Як визначити технічний стан ізоляції за виміряним опором?
17. Які дефекти трансформатора можуть призвести до зниження опору ізоляції?
18. Як впливає температура навколишнього середовища на опір ізоляції?

19. Які наслідки може мати перевищення втрат короткого замикання для трансформатора?

20. Які основні методи діагностики трансформаторів застосовуються на практиці?

21. Як порівняння фактичних і розрахункових параметрів допомагає у виявленні дефектів?

22. Які заходи доцільно виконати при виявленні дефектів магнітопроводу?

23. Які заходи передбачаються для відновлення ізоляційних властивостей трансформатора після зволоження?

24. Як можна підвищити енергетичну ефективність трансформатора під час експлуатації?

4.6. Перелік рекомендованої літератури

1. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навч. посіб. / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 173 с.

2. Експлуатація та монтаж електрообладнання: методичні вказівки для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація та монтаж електрообладнання» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад.: Р. В. Телюта, О. А. Козловський, В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 200 с.

3. Монтаж і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форми навчання / уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2020. 48 с.

4. Циганов О. М., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій. Миколаїв, 2022, 160 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. ПЕРЕВІРКА ТА ВИПРОБУВАННЯ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ 0,4–10 кВ. ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ, ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕНЬ, ПРАКТИЧНІ НАВИЧКИ РЕМОНТУ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ.

Мета роботи. Набути практичних навичок перевірки технічного стану кабельних ліній 0,4–10 кВ, виконання вимірювань опору ізоляції, визначення місця пошкодження різними методами (мостовим, імпульсним, індукційним, акустичним), оцінки придатності кабелю до подальшої експлуатації та формування практичних умінь з ремонту і відновлення його працездатності.

5.1. Основі теоретичні відомості

Кабельні лінії електропередачі 0,4–10 кВ є основними елементами систем електропостачання промислових підприємств. Вони забезпечують безперервну передачу електроенергії між розподільчими пристроями, трансформаторними підстанціями та споживачами. Під час експлуатації кабельні лінії піддаються впливу температури, вологи, механічних навантажень, електричних перенапруг та хімічних факторів, що може призводити до старіння ізоляції, пробоїв і механічних пошкоджень.

Випробування та перевірка кабельних ліній

Перед введенням у експлуатацію, після ремонту, а також періодично у процесі роботи кабельні лінії підлягають випробуванню відповідно до вимог ПУЕ, ДСТУ EN 60229, ДСТУ EN 50110-1.

До основних видів перевірок належать:

- Зовнішній огляд: перевірка цілісності оболонки, з'єднань, відсутності механічних пошкоджень.
- Вимірювання опору ізоляції мегомметром (напр. типу М4100, М1102, МІС-10, MetrISO 5000).
- Перевірка цілісності жил методом омметра або мостовим методом.
- Випробування підвищеною напругою для визначення електричної міцності ізоляції.
- Визначення місць пошкодження — із застосуванням акустичних, імпульсних, індукційних або мостових методів (наприклад, апарати типу Р5-10, Е6-24, МС-08).

Вимірювання опору ізоляції

Опір ізоляції кабелю R_i визначається як відношення прикладеної напруги U до виміряного струму витoku I :

$$R_i = \frac{U}{I}$$

Нормовані значення:

- для кабелів 0,4 кВ — не менше 0,5 МОм на 1 кВ робочої напруги;
- для кабелів 6–10 кВ — не менше 10 МОм.

Визначення місця пошкодження

Основні методи:

1. Метод відбитого імпульсу (TDR) — визначення за часом проходження хвилі до місця дефекту.
2. Мостовий метод — використовується для вимірювання опору до місця пошкодження при пробі однієї жили.
3. Акустичний метод — фіксація звуку електричного розряду під час пробою ізоляції.
4. Індукційний метод — визначення положення кабелю та зони пошкодження за зміною індукованої напруги.

Ремонт та відновлення працездатності

Після виявлення пошкодження виконуються роботи з відновлення ізоляції або заміни пошкодженої ділянки кабелю. З'єднання жил здійснюється за допомогою:

- мідних або алюмінієвих гільз з опресуванням або паянням;
- термоусаджувальних муфт (прямі, кінцеві, відгалужувальні);
- полімерних герметиків для забезпечення вологоізоляції.

Після ремонту кабельна лінія повторно проходить повний цикл випробувань.

5.2 Програма роботи

1. Ознайомитись з вимогами техніки безпеки при роботі з вимірювальними установками до 10 кВ.
2. Виконати зовнішній огляд макета або кабельного зразка.
3. Виміряти опір ізоляції між жилами і між жилами та оболонкою.
4. Змодельювати пошкодження (штучний пробій або коротке замикання) та визначити місце дефекту одним із методів.
5. Виконати відновлення ізоляції або заміну ділянки кабелю.
6. Повторно виміряти опір ізоляції після ремонту.
7. Порівняти результати з нормативними значеннями та зробити висновок щодо придатності кабелю до експлуатації.

5.3. Завдання та вихідні данні

Інструкція для виконання розрахунків:

Визначити опір ізоляції, нормований до 1 км:

$$R_{i,1\text{км}} = R_{\text{вим}} \cdot \frac{L}{1000} R_i,$$

Розрахувати відстань до пошкодження методом Мюррея:

$$x = L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Розрахувати відстань за імпульсним методом:

$$x = \frac{k \cdot c \cdot t}{2}$$

де k — із таблиці (для свого типу кабелю), $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Порівняти результати двох методів: Відхилення не повинно перевищувати 10 %.

Оцінити придатність кабелю: якщо $R_{i,1\text{км}} \geq R_{i,\text{min}}$ (ив. таблицю нормативів) → лінія придатна.

Зробити висновок:

- точка дефекту — на відстані xxx м від точки вимірювання;
- кабель підлягає ремонту / придатний до експлуатації;
- описати рекомендовані дії.

Вимірювання опору ізоляції

Формула:

$$R_i = \frac{U_{\text{мег}}}{I_{\text{вит}}}$$

Приклад: якщо мегомметр 1000 В показує струм витоку $I=10 \mu\text{A}$:

$$R_i = \frac{1000}{10 \cdot 10^{-6}} = 100$$

Нормування до 1 км
для довжини $L=0,2\text{км}$:

$$R_{i,1\text{км}} = R_i \cdot \frac{L}{1} = 100 \cdot 0,2 = 20 \text{ МОМ}$$

Якщо норматив $\geq 10 \text{ МО}$ — ізоляція придатна.

Температурна поправка

$$R_i(T_2) = R_i(T_1) \cdot 2^{\frac{T_1 - T_2}{10}}$$

Приклад:

при $T_1 = 20^\circ\text{C}$, $R_i(20) = 20\text{МОм}$, $T_2 = 40^\circ\text{C}$:

$$R_i(40) = 20 \cdot 2^{-2} = 5\text{МОм}$$

Ізоляція при нагріві зменшує опір.

Опір жили

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

де $\rho_{Al} = 0,0282 \Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Приклад:

для Al 120 мм^2 , $L = 200 \text{ м}$:

$$R = 0,0282 \frac{200}{120} = 0,047 \text{ Ом}$$

Визначення місця пошкодження — імпульсний метод (TDR)

$$x = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{k \cdot c \cdot t}{2}$$

де $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, $k \approx 0,6$

Приклад:

$t = 1,3 \mu\text{s}$:

$$x = \frac{0,6 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 1,3 \cdot 10^{-6}}{2} = 117 \text{ м.}$$

Міст Мюррея

$$x = L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Приклад:

$L = 200 \text{ м}$, $R_1 = 120 \text{ Ом}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$:

$$x = 200 \cdot \frac{120}{220} = 109 \text{ м}$$

Місце дефекту — $\approx 109 \text{ м}$ від випробувальної точки.

Міст Варлея (з опором у місці пошкодження)

$$x = L \cdot \frac{R_b}{R_{\text{loop}} - R_b}$$

де R_{loop} — повний опір петлі, R_b — балансне значення магазину.

Приклад:

$$L = 200\text{м}, R_{\text{loop}} = 10\text{м}, R_b = 0,250\text{м}:$$

$$x = 200 \cdot \frac{0,25}{1 - 0,25} = 66,7\text{м}$$

Ємнісний метод (для обривів)

$$x = L \cdot \frac{C_x}{C_{\text{повн}}}$$

Приклад

$$L = 150\text{м}, C_x = 0,42\mu\text{F}, C_{\text{повн}} = 0,60\mu\text{F}:$$

$$x = 150 \cdot \frac{0,42}{0,60} = 105\text{м}.$$

Випробування підвищеною напругою

$$U_{\text{випр}} = k \cdot U_0$$

де $k = 2 - 3$, U_0 — робоча фазна.

Приклад:

$$U_0 = 6\text{кВ}, k = 2,5;$$

$$U_{\text{випр}} = 15\text{кВ}$$

Струм витоку:

$$I_{\text{вит}} = \frac{U_{\text{випр}}}{R_i} = \frac{15000}{10^7} = 1,5\text{mA}.$$

Якщо струм стабільний і без пробоїв — випробування успішне.

Акустичний та індукційний методи

Формул немає — визначення за максимумом сигналу.

Параметри: швидкість розповсюдження хвилі звуку в ґрунті $v_a \approx 1500\text{м/с}$.

Якщо відомий час між імпульсом та акустичним відлунням t_a :

$$x = \frac{v_a \cdot t_a}{2}$$

Енергія розрядника (thumper)

$$W = \frac{1}{2} C_{\text{зар}} U_{\text{зар}}^2$$

Приклад:

$$C_{\text{зар}} = 50\mu\text{F}, U_{\text{зар}} = 4\text{кВ}:$$

$$W = 0,5 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \cdot (4000)^2 = 400\text{Дж}$$

Таблиця 5.1 - Коротка таблиця довідкових параметрів

Матеріал	$\rho, \Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	$v \text{ (TDR), м}/\mu\text{s}$	k	Мін. Ri (на 1 кВ)
Мідь	0,0175	180	0,6	0,5 МОм
Алюміній	0,0282	160	0,53	0,5 МОм
Поліетиленова ізоляція	—	—	—	$\geq 10 \text{ МОм}$ при 6–10 кВ

Рекомендована структура розрахункової частини звіту
Короткі вихідні дані (тип кабелю, довжина, напруга, температура, метод).

Виміряні значення $U_{\text{мег}}, I_{\text{вит}}, t, R_1, R_2, C_x$ тощо.

Підстановка у відповідні формули:

$-R_i, R_{i,1\text{км}}, x_{\text{TDR}}, x_{\text{Мюррей}}, x_{\text{есн.}}$

Порівняння методів і висновок.

Короткий запис ремонтних дій та повторної перевірки.

Таблиця 5.2 - Типові коефіцієнти швидкості (Velocity Factor, k) та швидкість поширення сигналу

№	Тип кабелю / ізоляції	Коефіцієнт швидкості (k)	Швидкість поширення ($v = k \cdot c$), м/мкс	Хвильовий опір (Z_0), Ом (орієнтовно)	Коментар
1	Кабелі з ПВХ ізоляцією (ВВГ, АВВГ)	0,45–0,55	135–165	50–80	Залежить від товщини ізоляції та вологи
2	Кабелі з ПЕ ізоляцією (АВББШв, ВВГнг-LS)	0,50–0,65	150–195	50–75	Найпоширеніші промислові кабелі 0,4–6 кВ
3	Кабелі з зшитим поліетиленом (XLPE, ПвББШв, ПвПуГ)	0,60–0,70	180–210	60–80	Високовольтні лінії 6–10 кВ
4	Кабелі з паперовою ізоляцією (ААШв, ААШп)	0,40–0,50	120–150	40–60	Швидкість зменшується при зволоженні
5	Кабелі контрольні (КВВГ, КВББШв)	0,45–0,60	135–180	70–100	Менші перерізи, вище хвильовий опір
6	Кабелі силові з екраном або бронєю	0,55–0,65	165–195	50–65	Для точних вимірів треба знати конструкцію екрана
7	Кабелі зв'язку, телеком (коаксіальні)	0,65–0,88	195–265	50	Для калібрування приладу TDR
8	Повітряні лінії (трос, паралельні жили)	0,95	285	300	Еталон швидкості для відкритої траси

Таблиця 5.3 - Коефіцієнти перерахунку та поправки для TDR і мостових вимірювань

Параметр	Позначення	Типові значення / формули	Призначення
Швидкість поширення	$(v = k \cdot c)$	$(c = 3 \cdot 10^8 \text{ м}/\text{с})$	Для обчислення відстані до дефекту
Поправка на температуру	$(v_T = v_{20}(1 + 0,0025 \cdot (T - 20)))$	При підвищенні температури швидкість \uparrow	Уточнення при польових вимірюваннях
Похибка через неточність (k)	$(\Delta x/x = \Delta k/k)$	Напр. при похибці $(\pm 0,05) \rightarrow \pm 8\%$	Враховується при визначенні довжини

Похибка через час дискретизації	$\left(\Delta x = \frac{v \cdot \Delta t}{2}\right)$	(Δt) — мінімальний крок TDR	Для оцінки роздільної здатності
Емпіричний коеф. для паперової ізоляції	$(k_{\text{пап}} \approx 0,48)$	Менше через високу діелектричну проникність	
Емпіричний коеф. для поліетиленової ізоляції	$(k_{\text{ПЕ}} \approx 0,64)$	Стандарт для XLPE і ПЕ кабелів	
Діелектрична проникність (ПЕ, XLPE)	$(\epsilon_r = (1/k)^2)$	$(\epsilon_r \approx 2,4 - 3,0)$	Використовується для розрахунку (Z_0)
Хвильовий опір	$\left(Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D}{d}\right)$	(D/d) — співвідношення діаметрів	Для розрахунку відбиття

Таблиця 5.4 - Мінімумально допустимий опір ізоляції згідно з ПУЕ / ДСТУ

Номинальна напруга лінії, кВ	Мін. опір ізоляції $(R_{i,min} \text{ МОм})$	Перевірочна напруга мегомметра, кВ
До 1 кВ	$\geq 0,5 \text{ МОм на } 1 \text{ кВ}$	1
1–3 кВ	$\geq 5 \text{ МОм}$	2,5
6–10 кВ	$\geq 10 \text{ МОм}$	2,5–5
20–35 кВ	$\geq 50 \text{ МОм}$	5–10

Таблиця 5.5 - Орієнтовні питомі параметри силових кабелів

Тип кабелю	Питомий опір жили, Ом/км	Питомий ємнісний параметр (c_0) , нФ/км	Питомий індуктивний параметр (l_0) , мГн/км
ВВГ 3×70	0,443	270	0,40
АВВГ 3×70	0,735	250	0,42
ААШв 3×120	0,235	300	0,38
АВБШв 3×95	0,295	290	0,39
ПвБШв 3×150 (XLPE)	0,206	260	0,36
ВВГнг 4×35	0,524	240	0,42

Як користуватись таблицями під час розрахунку:

Визнач тип кабелю за маркою або матеріалом ізоляції.

Візьміть коефіцієнт k із Таблиці 5.2 розрахуйте швидкість $v = k \cdot 3 \cdot 10^8$.

За виміряним часом відбиття t знайдіть відстань $x = \frac{v \cdot t}{2}$.

Для уточнення — використайте поправку на температуру або вологість.

При міжфазному пошкодженні — застосуйте міст Мюррея з тими ж параметрами L і r , що відповідають табличним питомим опорам.

Таблиця 5.6 - Варіанти завдання

№	Тип кабелю	Un, кВ	L, м	T, °C	R ₁ , Ω	R ₂ , Ω	t, μs	Rвим, МОм	Завдання
1	АВВГ 3×70	0,4	120	20	110	100	1,25	15	Розрахувати x (Мюррей), R_i (норм. до 1 км), оцінити ізоляцію
2	ВВГ 3×95	0,4	80	25	90	80	0,95	10	Розрахувати x (Мюррей), порів-

									няти з TDR
3	ААШв 3×120	6	200	20	120	100	1,35	25	Розрахувати x за Мюрреєм і TDR, оцінити придатність
4	АВБбШв 3×50	10	150	18	100	85	1,05	8	Визначити місце пошкодження, порівняти два методи
5	ВВГнг 4×35	0,4	100	22	105	95	0,80	12	Розрахувати x (Мюррей), зробити висновок
6	ААШв 3×240	6	300	20	130	120	2,00	30	Визначити відстань до дефекту, оцінити R_i
7	ААШв 3×150	10	250	15	140	100	1,60	20	Розрахувати x (Мюррей), порівняти з x (TDR)
8	АВБбШв 3×70	10	180	25	95	105	1,20	7	Розрахувати x (Мюррей), зробити висновок
9	ВВГ 3×25	0,4	60	20	80	70	0,65	6	Розрахувати x (Мюррей), оцінити опір ізоляції
10	АВВГ 4×50	0,4	130	20	100	90	1,10	9	Розрахувати x , порівняти з нормативом R_i
11	ААШп 3×70	6	210	18	115	95	1,45	12	Розрахувати x (Мюррей) і TDR
12	АПвПуГ 3×120 (XLPE)	10	280	20	125	110	1,80	20	Розрахувати x двома методами, зробити висновок
13	ВВГнг-LS 3×16	0,4	75	22	75	65	0,70	4	Розрахувати x (Мюррей), оцінити стан ізоляції
14	АВБбШв 3×95	6	190	20	110	100	1,25	18	Розрахувати x , перевірити по TDR
15	ААШв 3×95	10	230	25	125	115	1,60	9	Розрахувати x і R_i , оцінити допустимість
16	АПвБбШв 3×150	6	250	20	130	100	1,75	22	Розрахувати x (Мюррей), порівняти з TDR
17	АВВГ 4×25	0,4	110	15	80	70	0,85	8	Розрахувати x , R_i (1км)
18	ВВГ 3×10	0,4	50	20	60	50	0,50	5	Розрахувати x (Мюррей), оцінити ізоляцію
19	ААШв 3×95	10	230	18	120	100	1,50	14	Розрахувати x (Мюррей і TDR)
20	АВБбШв 3×120	6	260	22	130	120	1,85	25	Розрахувати x , R_i , зробити висновок


Додаткові умови для виконання варіантів:

1. Розрахувати очікуваний опір ізоляції при робочій температурі 20 °С.
2. Змоделювати типову ділянку кабелю (з урахуванням довжини та типу пошкодження).
3. Побудувати схему підключення вимірювальної установки.
4. Виконати розрахунок відстані до місця пошкодження за обраним методом.
5. Визначити придатність кабельної лінії до експлуатації після ремонту.

5.4. Критерії оцінювання

Зміст звіту

1. Мета роботи — перевірити стан кабельної лінії, визначити опір ізоляції та місце пошкодження.
2. Індивідуальне завдання — тип кабелю, довжина, результати вимірювань (R_1 , R_2 , t , $R_{\text{вим}}$).

- 
3. Хід роботи — виконання вимірювань, розрахунок $R_{i,1км}$, $x_{Мюррей}$, x_{TDR} .
 4. Результати — таблиця з розрахунками, схема вимірювання.
 5. Висновок — стан ізоляції, відстань до дефекту, придатність кабелю до експлуатації.

Підготовлена згідно робота у форматі файлу *.docx або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle. Оскарження оцінки може бути здійснене не пізніше двох тижнів з моменту оцінювання роботи.


Максимум балів за роботу 5 балів.

Розподіл балів за виконання прикладної роботи:

- 81-100 % від макс. балів – повна відповідність попередньому критерію, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;
- 61-80 % від макс. балів – всі дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;
- 41-60 % від макс. балів – дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;
- 21-40 % від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;
- 1-20% від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.

5.5. Питання для перевірки

1. Які основні причини пошкодження кабельних ліній у процесі експлуатації?
2. Для чого проводиться вимірювання опору ізоляції кабелів?
3. Які прилади використовуються для вимірювання опору ізоляції?
4. Які нормативні значення опору ізоляції для кабелів напругою 0,4–10 кВ?
5. Від яких факторів залежить величина опору ізоляції?
6. У чому полягає принцип дії мосту Мюррея?
7. Як визначається відстань до місця пошкодження кабелю методом Мюррея?
8. У яких випадках застосовується метод Варлея?

- 
9. Що характеризує коефіцієнт швидкості k у методі TDR?
 10. Як визначається відстань до місця пошкодження за імпульсним методом (TDR)?
 11. Які типи пошкоджень можна виявити імпульсним методом?
 12. Які особливості має акустичний метод пошуку пошкоджень?
 13. Як проводиться перевірка кабелю підвищеною напругою після ремонту?
 14. Які заходи безпеки необхідно дотримуватись при випробуванні кабельних ліній?
 15. Які дії виконує персонал після виявлення і усунення дефекту кабелю?

5.6. Перелік рекомендованої літератури

1. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навч. посіб. / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 173 с.
2. Експлуатація та монтаж електрообладнання: методичні вказівки для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація та монтаж електрообладнання» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад.: Р. В. Телюта, О. А. Козловський, В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 200 с.
3. Монтаж і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форми навчання / уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2020. 48 с.
4. Циганов О. М., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Монтаж, налагодка і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій. Миколаїв, 2022, 160 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ РОЗПОДІЛЬЧИХ ПРИСТРОЇВ 0,4–10 КВ. ОГЛЯД, ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИМИКАЧІВ, ШИН, КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАННЯ РЕГЛАМЕНТНИХ ОПЕРАЦІЙ.

Мета роботи. Ознайомитися з конструкцією, принципом роботи та особливостями експлуатації розподільчих пристроїв напругою 0,4–10 кВ; набути практичних навичок огляду, технічного обслуговування й виконання регламентних операцій на вимикачах, шинних системах, контактних з'єднаннях і допоміжних колах керування; навчитися виявляти типові дефекти, оцінювати технічний стан елементів РП, проводити вимірювання опору ізоляції, температурного нагріву контактів і визначати відповідність отриманих результатів вимогам нормативної документації (ПУЕ, ПТЕЕС, ДСТУ).

6.1. Основі теоретичні відомості

Розподільчі пристрої (РП) є ключовою частиною систем електропостачання промислових підприємств, оскільки вони забезпечують приймання, розподіл, комутацію та захист електричної енергії. Від справності та правильного обслуговування РП залежить надійність роботи всього електрообладнання, включно з електроприводами, системами керування, технологічними механізмами та допоміжними агрегатами.

1. Класифікація та призначення розподільчих пристроїв

За конструктивним виконанням РП поділяють на:

- Закриті (КРУ, КРУН, КСО) — встановлюються у приміщеннях, мають металеві шафи, підвищений рівень безпеки та захист від пилу, вологи.
- Відкриті (РУ) — розташовуються на відкритому повітрі (під навісом), використовуються у підстанціях 6–10 кВ.
- Комплектні трансформаторні підстанції (КТП) — включають трансформатор, РП високої та низької напруги в одному корпусі.
- Щити та шафи низької напруги (ЩО-70, ЩО-90, ЩР, ГРЩ) — застосовуються для розподілу електроенергії 0,4 кВ у цехах і виробничих дільницях.

Функції РП:

- розподіл електроенергії між приєднаннями;
- комутація електричних кіл під навантаженням;
- забезпечення електробезпеки персоналу;
- захист ліній, трансформаторів і двигунів від коротких замикань та перевантажень;
- вимірювання, контроль і сигналізація параметрів електричних мереж.

2. Основні елементи розподільчих пристроїв

1. Вимикачі — основні комутаційні апарати, призначені для вмикання і вимикання струмів під навантаженням та при аваріях.
 - Типи: масляні (ВМП), вакуумні (ВВ/TEL, VD4), повітряні (АВМ, АВП), елегазові (SF6).
 - Регламентні операції: перевірка механізмів, стану дугогасильних камер, змащування, очищення контактів.
2. Роз'єднувачі — створюють видимий розрив у колі. Вони не призначені для комутації струму, але забезпечують безпечне відключення обладнання під час ремонту.
 - Основні дефекти: окиснення контактів, ослаблення пружин, несправність блокувань.
3. Запобіжники — захищають кола від коротких замикань, розриваючи ланцюг при перевищенні допустимого струму.
4. Шинні системи — провідники великого перерізу (мідні або алюмінієві), які з'єднують апарати між собою.
 - При обслуговуванні перевіряють затягування болтових з'єднань, наявність перегріву, пошкодження ізоляції.
 - Температура нагріву шин не повинна перевищувати 70 – 80 °С для мідних і 60 °С для алюмінієвих шин.
5. Контактні з'єднання — найуразливіші елементи, що потребують постійного контролю.
 - Основні причини нагріву: ослаблення притискних зусиль, окиснення поверхонь, неякісне змащення.
 - Для перевірки стану контактів використовують термографічний контроль або безконтактні інфрачервоні пірометри.
6. Ізолятори та опорні конструкції — повинні бути механічно міцними, без тріщин, відколів, забруднень.
7. Допоміжні кола керування — забезпечують дистанційне вмикання, блокування, сигналізацію, релейний захист.

3. Основні види технічного обслуговування (ТО)

Технічне обслуговування розподільчих пристроїв поділяється на табл. 6.1.

Таблиця 6.1 - Технічне обслуговування розподільчих пристроїв

Вид ТО	Періодичність	Зміст робіт
Огляд (щоденний, змінний)	щодня	Перевірка наявності запаху гару, сторонніх шумів, відсутності іскор, стану ізоляції.
Планове ТО-1	1 раз на місяць	Очищення від пилу, перевірка щільності контактів, стану мастила, контроль температури контактів.
Планове ТО-2 (щорічне)	1 раз на рік	Вимірювання опору ізоляції, ревізія комутаційних апаратів, перевірка механічних приводів, заміна дефектних деталей.
Позапланове ТО	після аварій, КЗ, перенавантажень	Діагностика, перевірка працездатності вимикачів і шин, відновлення пошкоджень.

Результати обслуговування фіксуються в журналі обліку технічного стану обладнання або акті ревізії.

4. Основні параметри, що контролюються під час обслуговування

1. Опір ізоляції — визначається мегаомметром при відключеному обладнанні.

○ Для РП 0,4 кВ — не менше 0,5 МОм.

○ Для РП 6–10 кВ — не менше 1 МОм.

Формула розрахунку:

$$R_{із} = \frac{U_{випр}}{I_{вит}}$$

де $U_{випр}$ — напруга випробування, В;

$I_{вит}$ — струм витоку, А.

2. Температура контактів:

$$\Delta t = t_{конт} - t_{пов}$$

Нормативна різниця не перевищує 40 °С.

3. Стан змащення контактів — перевіряють нанесенням тонкого шару електротехнічного мастила (наприклад, ЦИАТИМ-221, технічний вазелін).

4. Механічний стан вузлів приводу — перевіряють хід важелів, пружин, блокувальних механізмів.

5. Типові дефекти та способи їх усунення

Таблиця 6.2 - Типові дефекти та способи їх усунення

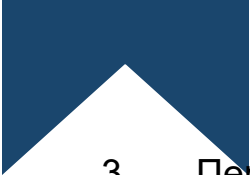
Група дефектів	Ознаки	Заходи усунення
Ослаблення контактів	Підвищення температури, потемніння, запах гару	Підтягування болтів, очищення поверхонь, перевірка моменту затяжки
Пошкодження ізоляції	Тріщини, обвуглення, зниження опору	Заміна ізоляторів, очищення від пилу, просушування
Несправність вимикача	Не вмикається або не вимикається, зависання контактів	Перевірка пружин, змащування приводу, регулювання ходу
Волога в шафі	Конденсат, окиснення металевих частин	Просушування, відновлення вентиляції, герметизація вводів
Перегрів шин	Нестійкі контакти, підвищений струм	Контроль термографією, підтягування з'єднань, балансування навантажень

6. Безпека під час експлуатації та ремонту

Перед початком робіт з РП необхідно:

1. Повністю знеструмити обладнання і встановити заземлення на відключених ділянках.

2. Встановити знаки безпеки («Не вмикати — працюють люди!»).

- 
3. Перевірити відсутність напруги переносним покажчиком.
 4. Використовувати діелектричні рукавички, калоші, килимки.
 5. Не торкатись відкритих частин, навіть якщо обладнання знес-трумлене, до перевірки заземлення.
 6. Роботи виконують щонайменше двоє працівників з групою з електробезпеки не нижче III.
 7. Документальне оформлення результатів ТО
Результати обслуговування та ремонту оформлюються у вигляді:
 - Акту ревізії розподільчого пристрою;
 - Протоколу вимірювання опору ізоляції;
 - Журналу технічного обслуговування електроустановок;
 - Картки дефектів (при виявленні пошкоджень).
 8. Значення профілактичного обслуговування
Регулярне проведення технічного обслуговування та поточного ре-мону РП:
 - запобігає виникненню аварій та простоїв обладнання;
 - забезпечує стабільну роботу електроприводів і систем керу-вання;
 - підвищує енергоефективність підприємства;
 - сприяє подовженню терміну служби ізоляції та контактів;
 - створює умови для безпечної експлуатації персоналом.

6.2 Програма роботи

1. Ознайомитися з конструкцією розподільчого пристрою 0,4 або 10 кВ (КТП, КРУ, ЩО-70, КСО-272 тощо).
2. Визначити склад основних елементів: вимикачі, шини, ізоля-тори, контактні вузли.
3. Провести зовнішній огляд і оцінити стан ізоляції та з'єднань.
4. Перевірити щільність затягування контактів та стан змащення рухомих частин.
5. Виміряти опір ізоляції основних елементів за допомогою ме-гаомметра (1 кВ або 2,5 кВ).
6. Оцінити результати вимірювань порівняно з нормативами (не менше 0,5 МОм для 0,4 кВ та 1 МОм для 6–10 кВ).
7. Виконати регламентні операції: підтягування з'єднань, очи-щення контактів, змащування.
8. Скласти акт або звіт про технічний стан РП із рекомендаціями щодо усунення дефектів.

6.3. Завдання та вихідні данні

Розрахункові формули:

1. Опір ізоляції:

$$R_{\text{із}} = \frac{U}{I}$$

де U — напруга випробування, В;

I — струм витоку, А

2. Відносна зміна опору ізоляції після очищення:

3.

$$\Delta R = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times 100\%$$

Температура нагріву контактного з'єднання:

$$\Delta t = t_{\text{конт}} - t_{\text{пов}}$$

де $t_{\text{конт}}$ — температура контакту; $t_{\text{пов}}$ — температура повітря.

Нормативне значення: $\Delta t \leq 40^\circ\text{C}$.

Таблиця 6.3 - Варіанти завдань

№ ва рі-ан-та	Тип ро-зпо-дільчого при-строю	Номі-наль-на на-пруга, кВ	Номіна-льний струм, А	Кі-лькі сть при-єд-нань	Завдання / ситуація	Основна регламентна опера-ція
1	ЩО-70	0,4	630	4	Під час планового ТО виявлено підвищений нагрів шини фази "А".	Перевірити контактні з'єднання, виконати підтягування та термо-контроль.
2	КРУ-10	10	400	3	Вакуумний вимикач не спрацьовує при дистанційному вми-канні.	Перевірити привід вимикача, змастити кінематичні ланки, пе-реверити коло керування.
3	КТП 1000/10/ 0,4	10/0,4	1600	2	При огляді виявлено сліди конденсації всередині шафи.	Просушити, перевірити опір ізо-ляції, провести герметизацію вводу.
4	КСО-272	10	600	3	Виявлено шум під час комутації.	Провести ревізію контактної си-стеми роз'єднувача, очистити дугогасильні камери.
5	ЩО-90	0,4	1000	6	При плановому огляді помічено окиснення контактів автоматів.	Виконати очищення, нанесення тонкого шару технічного вазелі-ну.
6	КРУН	10	630	4	Під час огляду зафік-совано підтікання ма-сла в трансформато-рному відсіку.	Усунути протікання, перевірити ізоляцію, виконати очищення поверхонь.
7	РП-6	6	250	3	При підключенні на-вантаження спостері-гається просідання	Перевірити контакти шин і вво-дів, провести заміри опору ізо-ляції.

					напруги.	
8	ЩРн-400	0,4	400	8	Виявлено нестійке вмикання автоматів групи освітлення.	Перевірити пружинні контакти, клеми, змінити окиснені ділянки проводів.
9	КТП 630/6/0,4	6/0,4	1000	2	Після грози виявлено спрацювання запобіжників на стороні ВН.	Провести заміну запобіжників, перевірити відсутність пошкоджень ізоляції.
10	КРУЕ	10	630	5	При роботі вологість перевищує норму, утворюється конденсат.	Встановити осушувач повітря, просушити РП, перевірити вентиляцію.
11	РУ-0,4 кВ відкритого типу	0,4	250	3	Виявлено ослаблення болтових з'єднань на шинних мостах.	Виконати ревізію болтових з'єднань і момент затягування гайок.
12	КРУ-10 з елегазовими вимикачами	10	630	4	Під час чергового огляду виявлено падіння тиску елегазу.	Перевірити щільність з'єднань, заправити елегаз до нормативного тиску.

Додаткові розрахункові завдання (індивідуальні параметри):

Для кожного варіанта студенту надаються індивідуальні дані:

- Напруга випробування мегаомметром $U_{\text{випр}} = 500, 1000, 2500 \text{ В}$
- Струм витоку $I = 0.2 \div 2 \text{ }\mu\text{А}$
- Температура контакту $t_{\text{конт}} = 45\text{--}80^{\circ}\text{C}$
- Температура навколишнього середовища $t_{\text{пов}} = 20 - 25^{\circ}\text{C}$

Необхідно обчислити:

1. Опір ізоляції $R_{\text{із}} = \frac{U_{\text{випр}}}{I}$
2. Перевищення температури контактів $\Delta t = t_{\text{конт}} - t_{\text{пов}}$
3. Зробити висновок: чи відповідають результати нормам ПУЕ.

6.4. Критерії оцінювання

Зміст звіту

1. Назва, мета та об'єкт дослідження.
2. Схема або фото РП (тип шафи, апарати, розташування шин).
3. Таблиця результатів вимірювань опору ізоляції.
4. Перелік виконаних регламентних операцій.
5. Виявлені дефекти та запропоновані заходи.
6. Висновки щодо технічного стану РП.

Підготовлена згідно робота у форматі файлу *.docx або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle. Оскарження оцінки може бути здійснене не пізніше двох тижнів з моменту оцінювання роботи.

Максимум балів за роботу 5 балів.

Розподіл балів за виконання практичної роботи:

- 81-100 % від макс. балів – повна відповідність попередньому критерію, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та

структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;

- 61-80 % від макс. балів – всі досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;

- 41-60 % від макс. балів – досліді/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;

- 21-40 % від макс. балів – у досліді/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;

- 1-20% від макс. балів – у досліді/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.

6.5. Питання для перевірки

1. Яке призначення розподільчих пристроїв 0,4–10 кВ у системах електропостачання?

2. Які основні типи РП застосовуються на промислових підприємствах?

3. Назвіть основні елементи конструкції РП.

4. У чому полягає відмінність між вимикачем і роз'єднувачем?

5. Для чого використовуються шинні системи в РП?

6. Які види технічного обслуговування розподільчих пристроїв ви знаєте?

7. Які норми опору ізоляції для установок напругою 0,4 кВ та 6–10 кВ?

8. Які вимоги безпеки необхідно виконати перед початком робіт з РП?


9. Які типи вимикачів застосовуються в РП високої напруги (масляні, вакуумні, елегазові)?

10. Як виконується перевірка відсутності напруги перед обслуговуванням?

6.6. Перелік рекомендованої літератури

1. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навч. посіб. / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 173 с.

2. Експлуатація та монтаж електрообладнання: методичні вказівки для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація та монтаж електрообладнання» за спеціальністю 141 «Електроенергетика,



електротехніка та електромеханіка» / уклад.: Р. В. Телюта, О. А. Козловський, В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 200 с.

3. Монтаж і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форми навчання / уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2020. 48 с.

4. Циганов О. М., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Монтаж, налагодка і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій. Миколаїв, 2022, 160 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7. ДІАГНОСТИКА ТА РЕМОНТ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ. ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ У ДАТЧИКАХ, РЕГУЛЯТОРАХ, МОДУЛЯХ КЕРУВАННЯ, ЗАМІНА ЕЛЕМЕНТІВ.

Мета роботи. Набути практичних навичок діагностики, пошуку та усунення несправностей в електронних приладах і системах автоматизації електроприводу; навчитися вимірювати параметри елементів, аналізувати відхилення від норми, виконувати ремонт і перевірку працездатності після заміни несправних компонентів.

7.1. Основі теоретичні відомості

Сучасні системи автоматизації електроприводів являють собою складні електронно-обчислювальні комплекси, у яких поєднуються силові електронні модулі, мікропроцесорні контролери, аналого-цифрові перетворювачі, датчики та пристрої зворотного зв'язку. Їхня надійність і точність безпосередньо визначають стабільність роботи всього електропривода — двигуна, виконавчих механізмів і виробничих процесів.

Будь-яка відмова окремого елемента — датчика, підсилювача, стабілізатора або модуля керування — призводить до порушення алгоритму керування, аварійного зупину або неправильного регулювання швидкості, моменту чи положення двигуна.

Тому діагностика, локалізація та усунення несправностей у таких системах є критично важливою частиною технічного обслуговування електроприводів.

2. Основні елементи електронних систем автоматизації електроприводу

1. Датчики — перетворюють фізичні величини в електричний сигнал, що надходить на модуль керування.

○ Датчики струму (на ефекті Холла, шунти) — формують сигнал 0–5 В або 4–20 мА пропорційно струму двигуна.

○ Датчики швидкості (енкодери, тахогенератори, датчики Холла) — забезпечують імпульсний або аналоговий сигнал зворотного зв'язку.

○ Датчики температури (Pt100, термістори, термопари) — контролюють нагрів двигуна або силових модулів.

○ Датчики положення/рівня/тиску — формують дискретний сигнал або аналогову напругу.

2. Регулятори та модулі керування

Це центральна частина системи автоматизації, що забезпечує обробку сигналів і формування команд для виконавчих елементів.

- *Аналогові регулятори* — базуються на операційних підсилювачах, RC-ланцюгах, потенціометрах.
 - *Цифрові регулятори (ПЛК, мікроконтролери)* — виконують програмне регулювання (PID, PI, логічне, адаптивне).
 - *ШИМ-регулятори (PWM)* — формують імпульсні сигнали для управління транзисторними ключами (IGBT, MOSFET).
3. Силові модулі — забезпечують комутацію струмів у колі двигуна. Основні елементи:
- Діоди, транзистори, IGBT-модулі, тиристори;
 - Стабілізатори, випрямлячі, драйвери затворів;
 - RC- та LC-фільтри для зниження гармонік.
4. Комунаційні модулі — реалізують обмін даними між пристроями:
- *RS-485 / Modbus RTU, CANopen, Profibus, Ethernet;*
 - перетворюють логічні рівні, забезпечують ізоляцію та захист від завад.

3. Види несправностей електронних систем

Електричні несправності:

- Обрив провідників або доріжок друкованої плати.
- Коротке замикання елементів (пробій діода, транзистора).
- Втрата ємності конденсатора, зміна опору резистора.
- Пошкодження стабілізатора напруги.
- Перегрів, нагар, окиснення контактів.

Функціональні (логічні) несправності:

- Зміщення нуля або масштабна похибка у сигналі датчика.
 - Відсутність імпульсів з енкодера.
 - Помилки у зчитуванні АЦП (спотворення або насичення сигналу).
 - Відмова модуля керування ШІМ.
 - Втрата зв'язку між ПЛК і перетворювачем частоти.
- Програмні збої:
- Втрата конфігурації контролера або помилки прошивки.
 - Невідповідність параметрів у ПЧ і ПЛК.
 - Некоректна робота алгоритмів PID-регулятора через хибні дані з датчиків.

4. Методи діагностики електронних систем

1. Візуальна діагностика

- огляд друкованих плат, роз'ємів, з'єднань;
- пошук потемнілих, перегрітих або тріснутих компонентів;
- виявлення механічних пошкоджень доріжок.

2. Електричне тестування

гів;

- перевірка напруг живлення, рівнів сигналів, цілісності ланцюгів;

- вимірювання опорів, струмів, падінь напруги;
- контроль стабільності живлення осцилографом.

3. Функціональна діагностика

- перевірка реакції системи на подані сигнали;
- тестування входів/виходів ПЛК через діагностичне ПЗ;
- перевірка правильності формування ШІМ, дискретних і аналогових сигналів.

4. Метод порівняння з еталонними значеннями

○ порівняння виміряних параметрів із паспортними або номінальними;

- пошук відхилень, які свідчать про деградацію елементів.

5. Теплова діагностика

○ контроль температури корпусів транзисторів, діодів, стабілізаторів;

○ виявлення перегріву, який свідчить про підвищений струм або паразитні втрати.

6. Програмна діагностика

○ зчитування кодів помилок, логів або статусних бітів у системі керування;

○ використання утиліт типу *SoMove*, *EcoStruxure Machine Expert*, *Tia Portal Diagnostic Buffer* тощо.

5. Алгоритм пошуку несправностей

1. Аналіз симптомів відмови системи (відсутність реакції, миготіння індикаторів, перегрів, шум).

2. Огляд вузлів живлення та елементів захисту.

3. Перевірка сигналів керування і зворотного зв'язку.

4. Визначення ділянки схеми з відхиленням параметрів.

5. Тестування елементів (резисторів, діодів, транзисторів, мікросхем).

6. Заміна або перепаювання несправних елементів.

7. Контрольна перевірка працездатності після ремонту.

8. Внесення запису у журнал технічного обслуговування.

6. Типові причини виходу з ладу компонентів

Елемент	Характерна несправність	Причина	Наслідки
Резистор	Зміна опору, обрив	Перегрів, старіння	Зміна параметрів сигналу
Конденсатор	Втрата ємності, пробій	Перевантаження, старіння	Пульсації напруги, шум
Діод	Пробій, обрив	Стрибок напруги	Втрата випрямлення
Транзистор	Пробій переходу, ви-	Перегрів, КЗ	Відсутність керування

	ПЛК		
Мікросхема	Вихід з ладу входів/виходів	Перенапруга, ЕСП	Збій у логіці або відсутність сигналу
Оптрон	Зниження коефіцієнта передачі	Старіння світлодіода	Втрата ізоляції або зв'язку
Стабілізатор	Втрата стабілізації	Перегрів	Нестабільність живлення системи

7. Техніка безпеки при діагностиці і ремонті

- Перед вимірюваннями відключати пристрій від мережі.
- Заборонено працювати з увімкненими силовими колами без ізоляції.
- Використовувати антистатичний браслет при роботі з мікросхемами.
- Паяльне обладнання має бути заземленим.
- Перевіряти правильність полярності перед подачею живлення.
- Не допускати перевищення граничних напруг при вимірюваннях.

8. Перевірка після ремонту

Після усунення несправності виконують:

1. Контроль електричних параметрів: живлення, струми, рівні сигналів.
2. Функціональну перевірку: реакція системи на вхідні сигнали, стабільність роботи регуляторів.
3. Тестування під навантаженням: оцінка температури елементів, відсутність коливань і шумів.
4. Документування результатів: фіксація дати ремонту, замієних деталей, результатів тестування.

9. Прилади та обладнання для практичної діагностики

- Мультиметр — вимірювання напруг, опорів, струмів.
- Осцилограф — аналіз форми сигналів і частоти імпульсів.
- Генератор сигналів — подача тестових імпульсів або аналогових рівнів.
- Паяльна станція з регулюванням температури — демонтаж і монтаж елементів.
- Тестер напівпровідників — визначення працездатності транзисторів, діодів.
- Програмне середовище (*SoMove, ZelioSoft, Machine Expert, Tia Portal*) — діагностика ПЛК, ПЧ, модулів.

10. Роль діагностики в експлуатації електроприводів

Своєчасна діагностика дозволяє:

- попередити відмови і аварійні зупинки обладнання;
- скоротити витрати на ремонт і простої;
- підтримувати точність та стабільність технологічних процесів;
- підвищити безпеку персоналу та надійність системи автоматизації.

Регулярне технічне обслуговування, моніторинг стану та аналіз діагностичних даних є необхідними умовами ефективної експлуатації електроприводів у промислових системах.

7.2 Програма роботи

1. Ознайомитись зі схемою досліджуваного модуля (датчик, регулятор, плата керування).
2. Провести візуальний огляд елементів, виявити можливі пошкодження або сліди перегріву.
3. Виконати вимірювання основних параметрів (напруг, опорів, сигналів) у контрольних точках.
4. Порівняти виміряні дані з номінальними, визначити відхилення.
5. Встановити несправний елемент або ділянку кола.
6. Провести заміну несправного компонента та перевірити правильність монтажу.
7. Подати живлення, виконати повторні вимірювання після ремонту.
8. Зробити висновки щодо причини несправності та ефективності ремонту.
9. Оформити короткий звіт із таблицею результатів та висновком.

7.3. Завдання та вихідні данні

Варіант 1. Діагностика кола живлення контролера

Умова: Модуль керування отримує живлення 24 В DC через стабілізатор 5 В. Після вмикання живлення контролер не реагує.

Контрольна точка	Номінальна напруга, В	Виміряна напруга, В
Вхід стабілізатора	24	24
Вихід стабілізатора	5,0	0,8
Вхід контролера	5,0	0,7

Завдання:

1. Визначити тип несправності та її можливу причину.
2. Пояснити, який елемент вийшов з ладу.
3. Запропонувати спосіб ремонту.

Варіант 2. Діагностика кола датчика температури

Умова: Датчик температури типу Pt100 підключений до аналогового входу контролера. Покази на дисплеї нестабільні.

Параметр	Номінальне значення	Виміряне значення
Опір датчика при 25 °С	109,7 Ом	72,5 Ом
Напруга на вході АЦП	2,7 В	1,4 В
Опір з'єднувального кабелю	≤ 0,5 Ом	2,3 Ом

Завдання:

1. Зробити висновок щодо стану датчика і кабелю.
2. Вказати причину відхилень показів.
3. Пояснити, як усунути несправність.

Варіант 3. Виявлення несправності в модулі ШІМ-керування

Умова: На виході модуля має формуватись імпульсний сигнал частотою 2 кГц, заповнення 60 %. Вимірювання проводяться осцилографом.

Параметр	Номінальне	Виміряне
Частота сигналу	2 кГц	1,9 кГц
Заповнення імпульсу	60 %	0 %
Напруга на виході	5 В	0 В

Завдання:

1. Пояснити причину відсутності імпульсу.
2. Визначити, який елемент (мікроконтролер, драйвер, транзистор) може бути несправним.
3. Обґрунтувати дії з ремонту.

Варіант 4. Тестування аналогового входу контролера

Умова: На вхід модуля подано напругу 0–10 В. Зчитування здійснюється програмою ПЛК.

Напруга на вході (В)	Показання ПЛК (В)
0	0,1
2	2,2
5	6,0
8	9,9
10	12,4

Завдання:

1. Пояснити характер несправності (зміщення, масштабна похибка, спотворення).
2. Визначити, у якому вузлі кола (дільник, АЦП, фільтр) імовірна помилка.
3. Запропонувати метод відновлення точності.

Варіант 5. Перевірка ланцюга зворотного зв'язку по струму
Умова: Датчик струму (тип Холла) передає сигнал 0–5 В при струмі 0–50 А. Двигун під навантаженням споживає 25 А, але контролер показує лише 10 А.

Параметр	Номінальне	Виміряне
Вихід датчика (В)	2,5 В	1,1 В
Напруга живлення датчика (В)	5,0 В	5,0 В
Опір вихідного ланцюга (кОм)	10	18

Завдання:

1. Визначити тип несправності (зсув нуля, обрив, деградація елемента).
2. Вказати, який компонент потребує заміни.
3. Пояснити вплив цієї несправності на роботу електроприводу.

Варіант 6. Діагностика сигналу з енкодера

Умова: Система контролю швидкості двигуна використовує імпульсний енкодер. Під час роботи з'являються пропуски сигналів.

Параметр	Номінальне	Виміряне
Амплітуда сигналу (В)	5,0	2,8
Частота імпульсів при 1500 об/хв	1500 Гц	1320 Гц
Опір лінії з'єднання (Ом)	$\leq 1,0$	4,5

Завдання:

1. Визначити джерело помилки (енкодер чи лінія зв'язку).
2. Пояснити можливий механізм спотворення сигналу.
3. Запропонувати дії для усунення несправності.

Варіант 7. Діагностика плати живлення

Умова: Модуль живлення має видавати стабілізовану напругу 12 В. Користувач скаржиться на періодичне вимикання системи.

Контрольна точка	Напруга (В)
Вхід моста випрямлення	18 В
Вихід моста	17,5 В
Вихід стабілізатора	11,0 В (з пульсаціями $\pm 0,7$ В)

Завдання:

1. Пояснити причину нестабільності вихідної напруги.
2. Вказати елемент, який, імовірно, вийшов з ладу.
3. Запропонувати дії для ремонту і перевірки після заміни.

Варіант 8. Аналіз кола ШІМ-регулятора вентилятора

Умова: Керування швидкістю вентилятора здійснюється сигналом 25 кГц, 40 % заповнення. Після запуску вентилятор працює лише на повній швидкості.

Параметр	Номінальне	Виміряне
Частота сигналу	25 кГц	25 кГц
Заповнення імпульсу	40 %	100 %
Напруга на базі транзистора	3,2 В	0 В

Завдання:

1. Пояснити причину несправності.
2. Вказати несправний елемент.
3. Пояснити, як заміна транзистора вплине на роботу вузла.

Варіант 9. Відсутність обміну по Modbus RTU

Умова: Модуль ПЛК не зчитує дані від перетворювача частоти. Перевірка лінії RS-485.

Параметр	Номінальне	Виміряне
Напруга між А–В (лінія неактивна)	200 мВ	200 мВ
Сигнал TX амплітуда	5,0 В	0,5 В
Опір між А–В (термінатор)	120 Ом	120 Ом

Завдання:

1. Визначити, який вузол несправний (трансивер, кабель, порт ПЛК).
2. Пояснити, чому відсутня передача даних.
3. Запропонувати заходи відновлення зв'язку.

Варіант 10. Діагностика плати індикації

Умова: Світлодіодна панель індикації стану електроприводу не світиться.

Параметр	Номінальне	Виміряне
Напруга живлення плати	12 В	12 В
Напруга на резисторі обмеження	2,2 В	0,0 В
Напруга на аноді LED	2,0 В	0,0 В

Завдання:

1. Вказати характер несправності (обрив, коротке замикання, пробій).
2. Пояснити причину відсутності світіння.
3. Запропонувати метод перевірки і відновлення працездатності.

Вказівки до оформлення звіту

1. У таблиці результатів показати виміряні та номінальні параметри.

2. Пояснити характер виявленої несправності та її вплив на роботу системи.

3. Навести схематичне позначення вузла, у якому виконано діагностику.

4. Додати висновки: тип несправності, причина, спосіб усунення, результат перевірки після ремонту.

7.4. Критерії оцінювання

Зміст звіту

1. Назва та мета роботи.
2. Схема досліджуваного вузла або фрагмент електронного блоку.
3. Таблиця результатів діагностики.
4. Фото або ескіз несправного елемента.
5. Короткий опис виконаних дій із ремонту.
6. Висновки щодо причини відмови і способу її усунення.

Підготовлена згідно робота у форматі файлу *.docx або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle. Оскарження оцінки може бути здійснене не пізніше двох тижнів з моменту оцінювання роботи.

Максимум балів за роботу 5 балів.

Розподіл балів за виконання практичної роботи:

- 81-100 % від макс. балів – повна відповідність попередньому критерію, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;

- 61-80 % від макс. балів – всі дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;

- 41-60 % від макс. балів – дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;

- 21-40 % від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;

- 1-20% від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.

7.5. Питання для перевірки

1. Які основні вузли входять до складу системи автоматизації електроприводу?
2. Які типи несправностей найчастіше зустрічаються в електронних приладах керування?
3. Як визначити несправність датчика температури чи струму?
4. Які методи використовують для діагностики електронних схем?
5. У чому полягає принцип роботи PID-регулятора?
6. Як виконати перевірку напівпровідникових елементів мультиметром?
7. Які правила слід дотримуватись при пайці елементів на платі?
8. Як перевірити працездатність модуля після ремонту?
9. Які прилади застосовуються для вимірювання сигналів у цифрових системах?
10. Як оформлюється технічна документація після ремонту електронного пристрою?

7.6. Перелік рекомендованої літератури

1. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навч. посіб. / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 173 с.
2. Експлуатація та монтаж електрообладнання: методичні вказівки для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація та монтаж електрообладнання» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад.: Р. В. Телюта, О. А. Козловський, В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 200 с.
3. Монтаж і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форми навчання / уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2020. 48 с.
4. Циганов О. М., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Монтаж, налагодка і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій. Миколаїв, 2022, 160 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8. ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ І ДІАГНОСТИЧНИХ ПРИЛАДІВ У СЕРВІСНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ. РОБОТА З МУЛЬТИМЕТРАМИ, МЕГАОММЕТРАМИ, СТРУМОВИМИ КЛІЩАМИ, ТЕПЛОВІЗОРАМИ, ВІБРОАНАЛІЗАТОРАМИ.

Мета роботи. Ознайомитися з принципами вибору та застосування вимірювальних і діагностичних приладів під час технічного та сервісного обслуговування електроприводів. Закріпити знання щодо характеристик і можливостей мультиметра, мегаомметра, струмових кліщів, тепловізора та віброаналізатора. Розвинути вміння самостійно визначати доцільні засоби діагностики для конкретного типу промислового механізму залежно від його параметрів, умов роботи та можливих дефектів.

8.1. Основі теоретичні відомості

Діагностика та сервісне обслуговування електроприводів промислового обладнання спрямовані на забезпечення їх безперебійної роботи, зменшення ймовірності аварійних зупинок і продовження терміну експлуатації.

Основним завданням діагностики є виявлення відхилень параметрів електричних, механічних або теплових процесів, які можуть бути ознакою несправності.

Для виконання цих завдань використовуються сучасні вимірювальні та діагностичні прилади, що забезпечують оперативне виявлення дефектів без демонтажу обладнання, у реальному часі, з високою точністю.

Результати вимірювань є основою для прийняття рішень щодо ремонту, регулювання або заміни вузлів.

Види діагностики електроприводів

Діагностика може проводитися у різних формах:

- Первинна (вхідна) — після монтажу, перед введенням обладнання в експлуатацію;
- Планова (профілактична) — за графіком технічного обслуговування;
- Позапланова (аварійна) — після збоїв або нестандартних режимів;
- Безперервна (онлайн-моніторинг) — у системах автоматизованого контролю стану.

Кожна форма діагностики базується на застосуванні певних приладів — від універсальних мультиметрів до складних віброаналізаторів та тепловізорів.

Мультиметри

Мультиметр — це універсальний прилад для вимірювання базових електричних параметрів: напруги (U), струму (I), опору (R), частоти (f) та іноді температури (t).

Існують два основних типи мультиметрів:

- Аналогові (стрілочні) — мають електромеханічну систему відхилення стрілки;
- Цифрові (електронні) — відображають результати на дисплеї, мають автоматичний вибір діапазону та додаткові функції.

Основні режими роботи мультиметра:

- DCV / ACV — вимірювання постійної та змінної напруги;
- DCA / ACA — вимірювання струму;
- Ω (Ом) — перевірка опору кіл та справності елементів;
- CONT — режим “прозвонки” для визначення цілісності провідників;
- Hz / Duty — вимірювання частоти або шпаруватості імпульсних сигналів;
- Diode / Transistor — перевірка діодів і транзисторів.

Особливості використання:

- перед вимірюванням напруги потрібно вибрати відповідний діапазон;
- при вимірюванні струму коло розривається (за винятком кліщових мультиметрів);
- для точних вимірювань важливо враховувати вхідний опір приладу (щоб не спотворити результати).

Типові діагностичні операції:

- перевірка живлення електронних блоків управління;
- пошук обривів у колах живлення;
- вимірювання напруги на вході та виході частотного перетворювача;
- перевірка стабільності напруги живлення датчиків.

Мегаомметри

Мегаомметр призначений для вимірювання опору ізоляції електрообладнання під дією підвищеної напруги постійного струму.

Під час вимірювання мегаомметр подає випробувальну напругу (від 250 В до 2500 В), реєструючи струм витоку через ізоляцію.

Типові області застосування:

- вимірювання опору ізоляції обмоток двигунів і трансформаторів;
- перевірка кабельних ліній та вводів;
- діагностика апаратури управління, датчиків, клемних коробок.

Нормативні значення:

- для електродвигунів напругою до 1000 В — не менше 1 МОм/кВ робочої напруги;
- для апаратури керування — не менше 10 МОм;
- для нових кабельних ліній — не менше 100 МОм.

Показники деградації ізоляції:

- зменшення опору менше встановленого мінімуму;

- зниження опору при повторних вимірюваннях;
- нестабільність показів при нагріванні.

Особливі застереження:

- мегаомметр не застосовується для електронних схем!
- вимірювання проводяться при відключеній напрузі;
- після вимірювання кола необхідно розрядити.

Струмові кліщі

Струмові кліщі — це прилади для безконтактного вимірювання струму у провіднику без розриву кола. Принцип дії ґрунтується на законі електромагнітної індукції: магнітне поле струму в провіднику індукує сигнал у вимірювальній котушці приладу.

Основні типи кліщів:

- Електромагнітні — для змінного струму (AC);
- Комбіновані (AC/DC) — на основі датчиків Холла для вимірювання постійного і змінного струму.

Додаткові функції:

- вимірювання напруги, частоти, потужності, коефіцієнта потужності ($\cos\phi$);
- обчислення спожитої енергії;
- виявлення гармонік струму (у промислових мережах з частотними перетворювачами).

Приклади застосування:

- визначення пускових струмів двигунів;
- контроль фазної симетрії у трифазних мережах;
- аналіз навантаження ліній електропостачання;
- виявлення струмів витоку.

Тепловізори

Тепловізор — прилад для безконтактного вимірювання температури та візуалізації розподілу теплового поля об'єкта.

Він фіксує інфрачервоне випромінювання поверхонь і перетворює його у зображення, де різні температури відображаються різними кольорами.

Типові області застосування:

- контроль нагріву з'єднань, клем, шин, контактів;
- діагностика підшипників і механічних вузлів;
- перевірка рівномірності нагріву обмоток електродвигунів;
- оцінка стану ізоляції будівельних елементів (теплотехнічний аналіз).

Основні характеристики:

- Температурний діапазон: $-20\dots+650$ °C;
- Роздільна здатність матриці: від 80×60 до 640×480 пікселів;
- NETD (теплова чутливість): $\leq 0,05$ °C;
- Польова калібровка: можливість налаштування емісійності поверхні.

Діагностичне значення:

- точкова локалізація перегрівів контактів або елементів;
- виявлення асиметрії фаз за температурним профілем;
- моніторинг стану підшипників, редукторів, кабелів живлення.

Віброаналізатори

Віброаналізатор — прилад для оцінки механічного стану електричних машин, редукторів, вентиляторів, насосів та іншого обертового обладнання шляхом вимірювання параметрів вібрації.

Основні вимірювані параметри:

- Швидкість вібрації (мм/с) — показує рівень енергії коливань;
- Амплітуда (мкм) — визначає відхилення від положення рівноваги;
- Частота (Гц) — вказує на джерело коливань (дисбаланс, підшипник, зубчаста передача).

Типові дефекти, виявлювані віброаналізом:

Характер коливань	Ймовірна причина
Періодичні гармонійні коливання	дисбаланс ротора
Високочастотні коливання	пошкодження підшипників
Нерівномірна вібрація при пуску	розцентрування валів
Раптове зростання амплітуди	ослаблення кріплень, розбаланс

Вібраційні вимірювання нормуються згідно ISO 10816 / ISO 20816, що встановлюють допустимі рівні для різних класів машин (A–D).

Для електродвигунів потужністю до 300 кВт зазвичай допустимий рівень віброшвидкості становить до 4,5 мм/с.

Комплексна діагностика електропривода

Для об'єктивної оцінки стану електропривода застосовується комплексний підхід, який включає:

- електричні вимірювання (U, I, R, P, cosφ);
- тепловий контроль;
- вібраційний моніторинг;
- аналіз стану ізоляції;
- перевірку якості живлення.

Комбінування результатів різних методів дозволяє:

- виявити приховані дефекти;
- попередити аварійні зупинки;
- прогнозувати термін залишкового ресурсу обладнання.

Вимоги безпеки при роботі з діагностичними приладами

1. Вимірювання проводити лише на знеструмленому обладнанні, за винятком кліщових приладів і тепловізорів.

2. Заборонено торкатись відкритих провідників під напругою.

3. Використовувати лише справні, перевірені прилади з цілими ізоляційними щупами.

4. Під час вимірювань мегаомметром необхідно заземлити корпус обладнання та розрядити обмотки після тесту.

5. Під час роботи з тепловізором дотримуватись безпечної дистанції до струмоведучих частин.

6. При вимірюванні вібрацій — забезпечити надійне кріплення датчика до корпусу машини.

8.2 Програма роботи

1. Ознайомитись із принципом дії, характеристиками та правилами користування мультиметром, мегаомметром, струмовими кліщами, тепловізором і віброаналізатором.

2. Провести електричні вимірювання:

– напруга, струм, опір у колах електропривода (мультиметр);

– опір ізоляції обмоток двигуна (мегаомметр);

– струм у фазах при роботі двигуна (струмові кліщі).

3. Виконати теплову діагностику двигуна або щита живлення тепловізором.

4. Провести вібраційні вимірювання для оцінки механічного стану агрегата.

5. Занести результати у таблиці, зробити аналіз і висновки щодо технічного стану.

6. Продемонструвати розуміння принципів роботи приладів та правильність вибору методу діагностики для конкретного випадку.

8.3. Завдання та вихідні данні

Здобувач обирає прилади, якими доцільно провести діагностику заданого механізму.

Для кожного обраного приладу він обґрунтовує:

- що і для чого вимірюється (мета);
- які параметри контролюються;
- який принцип дії приладу використовується;
- які типові дефекти можна виявити;
- у якому діапазоні мають бути норми параметрів.

У кінці завдання робиться **узагальнений висновок** про стан механізму, очікувані результати діагностики та ефективність застосованих методів.

Таблиця 8.1 - Варіанти індивідуальних завдань

№ вар.	Механізм / об'єкт діагностики	Основні параметри для контролю	Діапазон параметрів (орієнтовний)	Завдання здобувача
1	Електропривод стрічкового конвеєра	Потужність двигуна 7,5 кВт; струм 15–20 А; температура корпусу 45–70 °С	U=380 В; Iном=16 А; Тдоп=80 °С	Визначити, якими приладами перевірити стан електродвигуна, підшипників і живильної лінії. Обґрунтувати вибір.
2	Вентилятор аспіраційної системи	Потужність 5 кВт; вібрація 1–4 мм/с; тпідш.=60 °С		Обрати прилади для перевірки балансування, стану підшипників і навантаження. Вказати, які показники можуть свідчити про дисбаланс.
3	Насосна установка з електродвигуном 11 кВт	Струм 22 А; тиск 0,8 МПа; вібрація 2–6 мм/с		Підібрати комплекс діагностичних приладів для контролю електричної частини та механічної частини насоса. Визначити, як поєднати теплову й вібраційну діагностику.
4	Крановий електропривод підйому вантажу	Потужність 15 кВт; струм 30 А; навантаження змінне; тобмотки 70–90 °С		Визначити набір приладів для оцінки стану ізоляції, струмів навантаження, перегріву й вібрації. Зробити висновок щодо найбільш критичних параметрів.
5	Електропривод компресорної установки	Потужність 18,5 кВт; Iном=34 А; Pроб=0,6 МПа		Обрати методи діагностики для електродвигуна, контакторів, кабельної лінії. Вказати, який прилад допоможе виявити перегрів контактів.
6	Електропривод стрілочного переводу (АС 220 В)	Струм споживання 2–3 А; температура навколишнього середовища -10...+40 °С		Визначити прилади, які доцільно застосувати для перевірки стану ізоляції, контактів, напруги живлення та нагріву.
7	Редукторний двигун конвеєра	Потужність 4 кВт; I=9 А; vвibr.=2–8 мм/с		Обрати комплекс засобів для оцінки механічного стану редуктора, підшипників та перевантаження електродвигуна.
8	Електродвигун приводу млина	Потужність 22 кВт; Iном=42 А; навантаження нерівномірне		Визначити набір приладів, необхідних для визначення нерівномірності навантаження, фазної асиметрії та перегрівів.
9	Електродвигун вентиляційної шахти	Потужність 30 кВт; частота обертання 1500 об/хв; тнавк.=30 °С		Вибрати засоби діагностики для аналізу стану підшипників, вібрацій і рівня навантаження. Пояснити, як результати вимірювань допомагають запобігти аварії.
10	Привід транспортної лінії	Потужність 2,2 кВт; I=5 А; Тпідш.=55 °С		Запропонувати послідовність діагностичних операцій і засоби контролю для оцінки працездатності електропривода після ремонту.

8.4. Критерії оцінювання

Зміст звіту.

1. Титульна сторінка.
2. Короткі теоретичні відомості. Основні принципи діагностики, класи приладів, типи вимірюваних параметрів (електричні, теплові, вібраційні).

3. Вихідні дані(варіант завдання). Назва механізму, його основні параметри (потужність, струм, температура, швидкість обертання, вібрація тощо).

4. Таблиця вибору діагностичних приладів. Для кожного параметра — зазначити обраний прилад, обґрунтування вибору, можливі виявлені дефекти та нормативні межі.

5. Аналіз результатів. Пояснити, чому саме такі прилади є оптимальними для даного механізму; які параметри є критичними; які дефекти можна виявити.

6. Висновки.Коротко зазначити:

- які засоби діагностики доцільно використовувати;
- як вони взаємодоповнюють одне одного;
- які результати свідчатимуть про нормальний або аварійний стан обладнання.

Підготовлена згідно робота у форматі файлу *.docx або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle. Оскарження оцінки може бути здійснене не пізніше двох тижнів з моменту оцінювання роботи.

Максимум балів за роботу 5 балів.

Розподіл балів за виконання прикладної роботи:

- 81-100 % від макс. балів – повна відповідність попередньому критерію, також ініціативність студента у роботі над проблемою, логічність та структурованість вербальної відповіді під час навчальної дискусії, здатність комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, у т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним та самокритичним;

- 61-80 % від макс. балів – всі дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів повний та обґрунтований, звіт оформлений акуратно;

- 41-60 % від макс. балів – дослід/розрахунки виконані релевантно, аналіз отриманих результатів неповний, або звіт оформлений неохайно;

- 21-40 % від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, або аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно;

- 1-20% від макс. балів – у дослід/розрахунках присутні певні помилки, аналіз отриманих результатів неповний, звіт оформлений неохайно.

8.5. Питання для перевірки

1. Які основні функції сучасного мультиметра?
2. Для чого застосовується мегаомметр і як визначають стан ізоляції?
3. У чому переваги струмових кліщів перед амперметрами?
4. Які дефекти можна виявити за допомогою тепловізора?
5. Що характеризує параметри вібрації?
6. Які заходи безпеки слід виконувати при вимірюваннях мегаомметром?
7. Як за результатами вимірювань визначити наявність міжфазного пробую?
8. Що таке спектральний аналіз вібрацій і як його інтерпретують?
9. Як оцінити допустимий рівень вібрації двигуна за ISO 10816?
10. Які параметри впливають на точність вимірювань тепловізора?

8.6. Перелік рекомендованої літератури

1. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навч. посіб. / В. В. Грабко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 173 с.
2. Експлуатація та монтаж електрообладнання: методичні вказівки для самостійної роботи з навчальної дисципліни «Експлуатація та монтаж електрообладнання» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад.: Р. В. Телюта, О. А. Козловський, В. В. Зінзура. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 200 с.
3. Монтаж і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 Електрична інженерія спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка денної та заочної форми навчання / уклад. Ю.В. Грицюк. Луцьк : Луцький НТУ, 2020. 48 с.
4. Циганов О. М., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю. Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання : конспект лекцій. Миколаїв, 2022, 160 с.



Навчально-методичне видання

Шрамко Юрій Юрійович

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Ремонт і обслуговування електроприводу та електронних приладів промислового обладнання»

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції