

621 31(073)
p 59

Б.С. Рогальський, В.І. Кузьмінов,
М.Й. Бурбело

ЕЛЕКТРОМОНТАЖНІ РОБОТИ.
ВИМІРЮВАННЯ ТА
ВИПРОБОВУВАННЯ В
ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

3200-31

Міністерство освіти і науки України
Вінницький державний технічний університет

Б.С. Рогальський, В.І. Кузьмінов, М.Й. Бурбело

ЕЛЕКТРОМОНТАЖНІ РОБОТИ. ВИМІРЮВАННЯ ТА
ВИПРОБОВУВАННЯ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

НТБ ВНТУ



3200-31

621.31(075) Р 59 2001

Рогальський Б.С. Електромонтажні роботи. Е

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник з дисципліни "Робоча професія" для студентів електротехнічних спеціальностей. Протокол №8 від 29 березня 2001 р.



Вінниця ВДТУ 2001

Рецензенти

Н.Д.Делішник, доктор технічних наук, професор

Ю.О.Карпов, доктор технічних наук, професор

В.І.Нагул, кандидат технічних наук

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

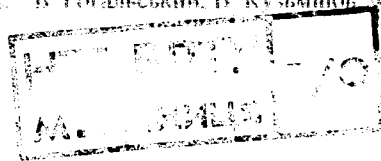
Рогальський В.С., Кузьмінюк В.І., Бурбелю М.Н.

Р 59 Електромотажні роботи. Вимірювання та випробовування в електроустановках. Навчальний посібник з дисципліни "Робоча професія". - Вінниця: ВДГУ, 2001. - 84 с.

В навчальному посібнику викладені основні поняття електротехніки, вимірювань та випробовувань в електроустановках. Посібник написаний для студентів першого курсу факультету електроенергетики та електромеханіки і призначений для підготовки до лабораторного практикуму з дисципліни "Робоча професія", який включає в себе виконання дев'яти лабораторних робіт. Посібник розроблений у відповідності з планом кафедри та програмою з дисципліни "Робоча професія".

УДК [621.317 : 621.311

© В. Рогальський, В. Кузьмінюк, М. Бурбелю, 2001



ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....	6
Тема 1.1 Вимірювання параметрів індуктивних котушок і конденса- торів.....	9
Тема 1.2 Дослідження однофазного силового трансформатора.....	16
Тема 1.3 Дослідження однофазних випрямлячів.....	23
Тема 1.4 Контроль відхилень та несиметрії напруг в трифазних елект- ричних мережах.....	29
2 ТРИФАЗНІ МЕРЕЖІ З ЄМНІСНИМИ СТРУМАМИ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ.....	
Тема 2.1 Дослідження нормального режиму напруг та струмів в трифаз- них мережах з симетричним навантаженням.....	38
Тема 2.2 Дослідження режимів в трифазних електричних мережах з ізолюваною нейтраллю при замиканні однієї фази на землю.....	48
Тема 2.3 Проблемна лабораторна робота - дослідження режиму компен- сації ємнісного струму замикання на землю в трифазних елект- ричних мережах.....	52
3 МЕТОДИ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРО- ОБЛАДНАННЯ.....	56
Тема 3.1 Вимірювання опору ізоляції.....	58
Тема 3.2 Ознайомлення з реле захисту від однофазних замикань на землю в трифазних мережах напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю.....	70
ЛІТЕРАТУРА.....	83

Діяльність людей з початку 20 століття нерозривно пов'язана з електричною енергією. Перерви електропостачання порушують ритмічність виробництва, рух транспорту, створюють побутові незручності. Тому однією з основних задач є забезпечення надійності систем електропостачання.

Забезпечення достатньої надійності неможливе без виконання вимірювань та випробовувань електротехнічних установок. Це пояснюється тим, що ізоляція електроустановок знаходиться під впливом електричних, механічних та теплових дій, комутаційних та атмосферних перенапруг, що може викликати її ослаблення, в деяких випадках - пошкодження. Запобіганню цих негативних явищ і виявленню дефектів на ранніх стадіях їх розвитку сприяє, по-перше, проведення своєчасних профілактичних випробовувань; по-друге, оперативний контроль за режимними параметрами електричних установок.

При підготовці даного посібника, який призначений для проведення лабораторного практикуму з дисципліни "Робоча професія", ставилась задача ознайомити студентів першого курсу з основними поняттями електротехніки, електричних вимірювань та випробовувань. Метою виконання лабораторних робіт є набуття практичних навичок виконання вимірювань в електротехнічних установках.

Матеріал, що викладений в розділах 2 і 3, може бути використаний на старших курсах в дисциплінах "Електропостачання" та "Монтаж і експлуатація". Частина матеріалу, що набрана курсивом, студентами першого курсу може бути пропущена.

В першому розділі розглядаються загальні питання електротехніки і електричних вимірювань. Тут представлені чотири теми:

- 1.1 – Вимірювання параметрів індуктивних котушок і конденсаторів;
- 1.2 – Дослідження силового однофазного трансформатора;
- 1.3 – Дослідження однофазних випрямлячів;
- 1.4 – Контроль відхилень та несиметрії напруг в трифазних електричних мережах.

Другий розділ присвячений вивченню процесів в трифазних мережах з ізольованою нейтраллю. Розглядаються такі теми:

- 2.1 – Дослідження нормального режиму напруг і струмів в трифазних мережах з симетричним навантаженням;
- 2.2 – Дослідження трифазних електричних мереж з ізольованою нейтраллю при замиканні однієї фази на землю;
- 2.3 – Дослідження режиму компенсації смісного струму замикання на землю в трифазних електричних мережах.

Третій розділ присвячений питанням вимірювання та контролю стану ізоляції. В цьому розділі представлені дві теми:

- 3.1 – Вимірювання опору ізоляції;
- 3.2 – Ознайомлення з реле захисту від однофазних замикань на землю.

Розподіл розділів між авторами такий: М.Й. Бурбело – розділ 1; В.І. Кузьмінов – розділ 2; Б.С. Рогальський – розділ 3.

І ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ І ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

В електроенергетиці використовуються синусоїдні напруги та струми промислової частоти (50 Гц).

Синусоїдні величини характеризуються такими параметрами: амплітуда, період, частота, кутова частота, початкова фаза, фаза (фазовий кут), зсув фаз, миттєве, діюче значення.

Миттєві напруга та струм

$$u = U_m \sin(\omega t - \psi_u); \quad i = I_m \sin(\omega t - \psi_i),$$

визначаються трьома параметрами: амплітудою (найбільшим миттєвим значенням), кутовою частотою ω і початковою фазою ψ_u , ψ_i . Аргумент синуса називається фазою (фазовим кутом), наприклад $\omega t + \psi_u$ - фаза напруги.

Час, за який здійснюється одне повне коливання, називається періодом (Т). Величина, що обернена періоду, називається частотою ($f=1/T$). Одиниця вимірювання частоти – герци (Гц) – число коливань за 1 секунду. Кутова частота ω , період Т і частота f зв'язані співвідношенням $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$. Кутовій частоті $\omega = 314$ радіан за секунду відповідають

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \approx \frac{314}{2 \cdot 3.14} = 50 \text{ Гц}; \quad T = 1/f = 1/50 = 0.02 \text{ с.}$$

Кут зсуву фаз між напругою і струмом визначається різницею початкових фаз

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Синусоїдні величини в більшості випадків характеризуються не амплітудними, а діючими (або ефективними) значеннями

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Діюче значення відповідає значенню постійного струму, еквівалентного за виділеним теплом (активною потужністю).

В деяких випадках використовується середнє значення вимірюваної величини

$$U_c = \frac{1}{T} \int_0^T u dt; \quad I_c = \frac{1}{T} \int_0^T i dt.$$

Для вимірювання напруги використовуються вольтметри, струму – амперметри. Переважна більшість приладів призначена для вимірювання діючих значень. Активна потужність вимірюється ватметрами, кут зсуву фаз – фазометрами.

Відлік значень величин, вимірюваних цифровими приладами, здійснюється безпосередньо за цифровим індикатором.

Для правильного відліку значень величин, вимірюваних аналоговими (стрілковими) приладами необхідно попередньо визначити ціну поділки, яка дорівнює відношенню граничного значення вимірюваної величини до кількості поділок його шкали. Ціна поділки вольтметра, амперметра і ватметра визначаються відповідно

$$C_U = \frac{U_n}{n_U}; \quad C_I = \frac{I_n}{n_I}; \quad C_P = \frac{U_n I_n}{n_P}$$

де U_n , I_n – граничні значення напруги і струму, що можуть бути виміряні приладами;

n_U , n_I , n_P – кількість поділок шкали відповідно вольтметра, амперметра та ватметра.

Значення вимірюваних величин визначаються таким чином:

$$U = n C_U; \quad I = n C_I; \quad P = n C_P,$$

де n – число поділок шкали, що відповідає значенню вимірюваної величини.

Крім активних величин (напруги, струму) досить актуальним є вимірювання пасивних величин – опорів, ємностей, індуктивностей.

коефіцієнтів передачі (трансформації) та інших. Пасивні величини можуть вимірюватися посередньо, наприклад, опір можна виміряти методом амперметра і вольтметра, а також прямо – з використанням омметрів, мегометрів, мостів. Шкали омметрів та мегометрів проградуйовані в одиницях вимірюваної величини.

Тема 1.1: Вимірювання параметрів індуктивних котушок і конденсаторів

Мета роботи: Навчитись вимірювати параметри індуктивних котушок і конденсаторів.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Вивчити основні теоретичні поняття моделювання та вимірювання параметрів індуктивних котушок і конденсаторів.
2. Провести вимірювання параметрів індуктивних котушок і конденсаторів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Основними параметрами індуктивної котушки і конденсатора є відповідно індуктивність L і ємність C . Однак, будь-яка індуктивна котушка споживає електричну енергію, що може бути враховано за допомогою активного опору R . Тому схема заміщення повинна містити два елементи: індуктивний L та резистивний R . Використовуються послідовна та паралельна схеми, які є рівноправними (рис.1.1,а). В конденсаторах споживання електричної енергії є значно меншим. Тому конденсатори часто представляють одним ємнісним елементом C . При необхідності в схему заміщення конденсатора теж вводять резистивний елемент R , використовуючи послідовну або паралельну схему (рис.1.1,б). Як правило, послідовна схема заміщення використовується при малих втратах електричної енергії, а паралельна - при великих.

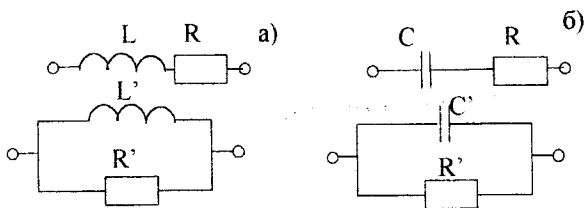


Рисунок 1.1 – Схеми заміщення індуктивних котушок і конденсаторів

При прикладанні до індуктивної котушки або конденсатора синусоїдної напруги \dot{U} через них проходить синусоїдний струм \dot{I} . Струм \dot{I}_L через індуктивну котушку по фазі відстає від напруги \dot{U} на кут φ , а струм \dot{I}_C через конденсатор випереджає напругу \dot{U} по фазі на кут φ , який близький до 90 градусів. На рис.1.2 приведені векторні діаграми для індуктивної котушки а) і конденсатора б).

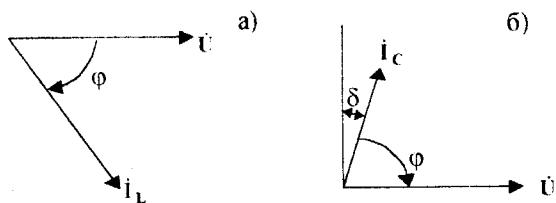


Рисунок 1.2 – Векторні діаграми

Визначення параметрів індуктивної котушки та конденсатора за результатами вимірювання струму, напруги, активної потужності (I , U , P) здійснюють в такій послідовності:

- 1) розраховують повний опір

$$Z = \frac{U}{I};$$

- 2) визначають коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I};$$

3) знаходять активний опір

$$R = Z \cdot \cos \varphi;$$

4) розраховують реактивний опір

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = Z \cdot \sin \varphi.$$

Приведені співвідношення зручно представити у вигляді трикутників опору (рис. 1.3)

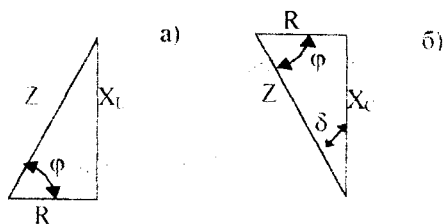


Рисунок 1.3 – Трикутники опору

Параметри паралельної схеми заміщення визначають за результатами вимірювання I , U , P в такій послідовності:

1) розраховують повну провідність

$$y = \frac{I}{U};$$

2) визначають коефіцієнт потужності

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI};$$

3) знаходять активну провідність

$$g = y \cdot \cos \varphi;$$

4) розраховують реактивну провідність

$$b = \sqrt{y^2 - g^2} = y \cdot \sin \varphi$$

При паралельній схемі заміщення користуються трикутниками провідності (рис.1.4)

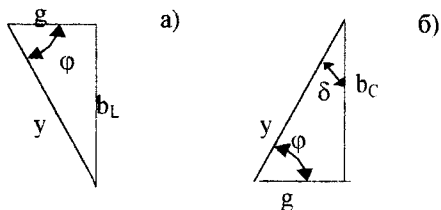


Рисунок 1.4 – Трикутники провідності

Індуктивність котушки визначають з виразів відповідно для послідовної і паралельної схем заміщення

$$X_L = \omega \cdot L; \quad b_L = \frac{1}{\omega L},$$

де $\omega = 2\pi f$ - кутова частота синусоїдного струму ($f = 50$ Гц - промислова частота мережі).

Ємність конденсатора визначають з формул відповідно для послідовної і паралельної схем заміщення

$$X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad b_C = \omega C.$$

Значення ємностей та індуктивностей відрізняються при $\varphi < 90^\circ$. Тому потрібно вказувати якій схемі заміщення (послідовній чи паралельній) відповідає значення.

Часто в якості одного з параметрів індуктивної котушки і конденсатора використовують добротність

$$Q = \operatorname{tg}\varphi = \frac{X}{R} = \frac{b}{g}.$$

Для конденсаторів використовують також тангенс кута діелектричних втрат

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{R}{X} = \frac{g}{b},$$

де δ - кут діелектричних втрат конденсатора (рис. 1.2 - 1.4).

ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Схема лабораторної установки зображена на рис. 1.5

Установка містить: лабораторний автотрансформатор ЛАТР - I; вимірювальні прилади: міліамперметр, вольтметр, ватметр.

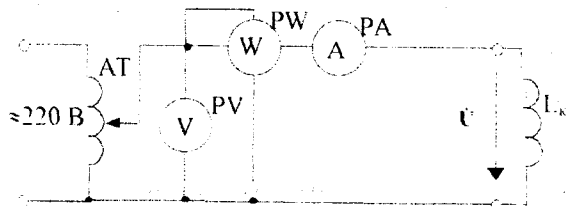


Рисунок 1.5 – Схема лабораторної установки

ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Скласти коло (рис.1.5) для вимірювання параметрів індуктивних котушок і конденсаторів.
2. Виміряти струм I , напругу U , потужність P при ввімкненні котушки індуктивності L_k . Результати вимірювань занести в табл. 1.1.
3. Розрахувати параметри індуктивної котушки при послідовній схемі замщення і занести отримані значення в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Виміряні значення			Обчислені значення						
I, A	U, A	$P, Вт$	$Z, Ом$	$\cos\varphi$	$R, Ом$	$X_L, Ом$	$L, Гн$	Q_L	

4. Виміряти активний опір котушки індуктивності на постійному струмі за допомогою омметра. Результати занести в табл. 1.2.

5. Використовуючи виміряні в п.2 значення I та U , розрахувати параметри індуктивної котушки при відомому значенні R .

Таблиця 1.2

Виміряні значення			Обчислені значення		
I, A	U, B	$R, Ом$	$Z, Ом$	$X_L, Ом$	$L, Гн$

6. Виміряти струм I , напругу U , потужність P при ввімкненні конденсатора. Результати занести в табл. 1.3, 1.4.

7. Розрахувати параметри конденсатора для двоелементної послідовної (табл.1.3) та двоелементної паралельної (табл.1.4) схем заміщення конденсатора.

Таблиця 1.3

Виміряні значення			Обчислені значення						
I, A	U, B	$P, Вт$	$Z, Ом$	$\cos\varphi$	$R, Ом$	$X_C, Ом$	$C, мкФ$	Q_C	$tg\delta$

Таблиця 1.4

Виміряні значення			Обчислені значення						
I, A	U, B	$P, Вт$	$y, См$	$\cos\varphi$	$g, См$	$b_C, См$	$C, мкФ$	Q_C	$tg\delta$

8. Порівняти отримані результати в табл.1.1, 1.2 та 1.3, 1.4. Побудувати векторні діаграми напруг і струмів для котушки індуктивності та конденсатора. Зробити висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який параметр є основним для індуктивних котушок і конденсаторів?
2. Чим пояснюється необхідність введення в схему заміщення індуктивної котушки і конденсатора додаткового резистивного елемента?
3. Зобразіть векторні діаграми для індуктивної котушки і конденсатора.
4. Залишіть алгоритм розрахунку параметрів послідовної схеми заміщення.
5. Який алгоритм розрахунку параметрів паралельної схеми заміщення?
6. Як визначається індуктивність і ємність через реактивні опори і провідності?
7. Що таке добротність котушки або конденсатора?
8. Як визначається тангенс кута діелектричних втрат конденсатора?
9. Зобразіть схему для визначення параметрів елементів за методом амперметра, вольтметра і ватметра.
10. Розкажіть послідовність виконання роботи.

Тема 1.2: Дослідження однофазного силового трансформатора

Мета роботи : засвоїти основні поняття, що характеризують роботу однофазного трансформатора, дослідити однофазний трансформатор.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичні положення.
2. Дослідити трансформатор в режимі холостого ходу і короткого замикання.
3. Зняти характеристику намагнічування трансформатора.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Силові трансформатори - пристрої, які призначені для перетворення енергії змінного струму з одними значеннями напруги і струму в енергію змінного струму тієї ж частоти з іншими значеннями напруги і струму. Трансформатори, які використовуються для зменшення напруги, називають понижувальними. Трансформатори, які використовуються для підвищення напруги, називають підвищувальними. Один і той же трансформатор може використовуватися в ролі підвищувального і понижувального. Силові трансформатори виконуються однофазними або трифазними.

Розглянемо однофазний силовий трансформатор із стержневим осердям (рис.1.6). Трансформатор складається з двох обмоток, які знаходяться на осерді. Обмотки виготовляються з мідного або алюмінієвого ізольованого проводу, а осердя - з листової електротехнічної сталі. Листи сталі ізолюють один від одного методом покриття їх лаком.

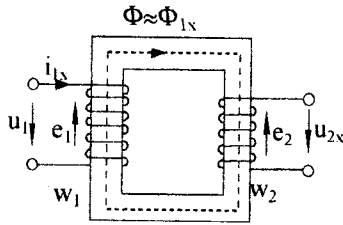


Рисунок 1.6 – Однофазний трансформатор в режимі холостого ходу

При приєднанні первинної обмотки не навантаженого трансформатора до мережі напругою u_1 в ній проходить синусоїдний струм i_{1x} , що створює змінний магнітний потік Φ_{1x} , який практично весь замикається через осердя $\Phi \approx \Phi_{1x}$, пронизуючи витки первинної і вторинної обмоток. В обмотках наводяться ЕРС

$$e_1 \approx w_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad e_2 \approx w_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

де w_1, w_2 - число витків первинної і вторинної обмоток. При цьому напруга мережі u_1 практично компенсується ЕРС e_1 , а на вторинній обмотці виникає напруга $u_2 = e_2$.

Одним з основних параметрів трансформатора є його коефіцієнт трансформації

$$n = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{2x}} \approx \frac{w_1}{w_2}.$$

Важливими параметрами трансформатора є його струм I_{1x} і потужність P_{1x} холостого ходу, які відповідають номінальній напрузі первинної обмотки $U_{1ном}$. Струм холостого ходу характеризує силу намагнічення, необхідну для створення змінного магнітного потоку в осерді, а потужність холостого ходу - втрати в сталі. Якщо величини I_{1x}, P_{1x} виміряні при пониженій напрузі U_1 , то їх необхідно привести до номінального значення за формулами:

$$I_{1x} = I'_{1x} \frac{U_{\text{ном}}}{U_1},$$

$$P_{1x} = P'_{1x} \left(\frac{U_{\text{ном}}}{U_1} \right)^2,$$

де I'_{1x}, P'_{1x} - виміряні значення струму і потужності.

Перша з формул основана на тому, що в трансформаторі при відсутності пошкоджень залежність $I_{1x}=f(U_1)$ є прямою.

Характеристика $I_{1x}=f(U_1)$ називається характеристикою намагнічування. Зняття характеристики намагнічування дозволяє виявити пошкодження ізоляції між листами електротехнічної сталі магнітопровода або наявність короткозамкнених витків в обмотках. Про це свідчить відхилення характеристики намагнічування від паспортної (типової) характеристики.

При ввімкненні навантаження Z_n в коло вторинної обмотки (рис. 1.7) під дією ЕРС e_2 виникає струм i_2 . Так як потужності на вході і виході трансформатора приблизно рівні

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2,$$

а $U_2 \approx U_{2x}$, то співвідношення струмів вторинної і первинної обмоток можуть бути визначені через коефіцієнт трансформації

$$n \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}.$$

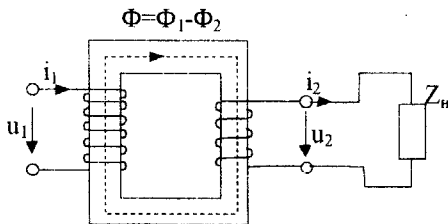


Рисунок 1.7 – Однофазний трансформатор під навантаженням

Струм i_2 вторинної обмотки, в свою чергу, створює змінний магнітний потік Φ_2 . Цей потік знаходиться в протифазі з потоком Φ_1 . Резульгуючий магнітний потік визначається різницею потоків, що створюються обмотками

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2.$$

Резульгуючий потік практично не змінюється з ростом навантаження $\Phi \approx \Phi_{1n}$. Тобто, зміна Φ_2 повинна компенсуватися відповідно зміною Φ_1 . Оскільки потоки Φ_1 і Φ_2 пропорційні струмам I_1 і I_2 , то зростання струму I_2 супроводжується відповідним збільшенням струму I_1 .

При ввімкненні номінального навантаження $Z_{н.ном}$ в первинній і вторинній обмотках проходять номінальні струми $I_{1ном}$, $I_{2ном}$. Трансформатор споживає номінальну потужність $S_{ном}$.

При короткому замиканні вторинної обмотки струми I_2 та I_1 різко зростають. Їх значення в 10...20 разів перевищують номінальні значення. Це може привести до виходу трансформатора з ладу.

Важливим параметром трансформатора є напруга короткого замикання $U_{1к}$, яка характеризує в скільки разів струм короткого замикання перевищує номінальне значення

$$I_{1к} = I_{1ном} \frac{U_{1ном}}{U_{1к}}$$

Напруга короткого замикання часто виражається в процентах.

Тоді струм короткого замикання буде

$$I_{1к} = I_{1ном} \frac{100}{u_{1к}\%}$$

Напругу короткого замикання визначають з досліду короткого замикання, при якому напругу на первинній обмотці U_1 збільшують, починаючи з нульового значення, до тих пір, поки струм первинної обмотки не стане номінальним $I_{1ном}$.

Отже, за напругу короткого замикання $U_{1к}$ приймають значення напруги U_1 при закороченій вторинній обмотці і номінальних струмах $I_{1ном}$, $I_{2ном}$.

З досліду короткого замикання визначають також потужність короткого замикання $P_{1к}$, яка характеризує втрати потужності в обмотках при номінальному навантаженні.

ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Схема лабораторної установки зображена на рис.1.8. Вона складається з автоматичного вимикача **QF**, лабораторного автотрансформатора **АТ**, вимірювальних приладів і досліджуваного трансформатора **Т**.

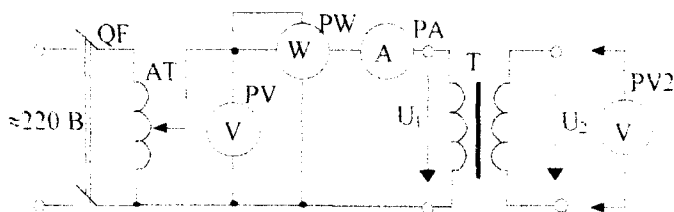


Рисунок 1.8 – Схема лабораторної установки

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Визначити виводи первинної і вторинної обмоток досліджуваного понижувального трансформатора. Для цього за допомогою омметра виміряти опори обмоток.
2. Скласти електричне коло для вимірювання параметрів трансформатора (рис.1.8).
3. В режимі холостого ходу виконати вимірювання U_1 , $I_{1х}$, $P_{1х}$, $U_{2х}$.
Результати вимірювань занести в табл.1.5.

3. За результатами дослідження холостого ходу визначити коефіцієнт трансформації n , струм $I_{1\text{хном}}$ і потужність $P_{1\text{хном}}$ холостого ходу, а також кут зсуву фаз ϕ_{1x} . Отримані результати записати в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

Виміряні значення				Обчислені значення			
$U_1, \text{В}$	$I_{1x}, \text{А}$	$P_{1x}, \text{Вт}$	$U_{2x}, \text{В}$	n	$I_{1\text{ном}}$	$P_{1\text{хном}}$	ϕ_{1x}

5. В режимі короткого замикання ($I_1 = I_{1\text{ном}}$) виконати вимірювання U_{1k} , P_{1k} , $I_{2\text{ном}}$.

Результати занести в табл. 1.6.

6. Визначити коефіцієнт трансформації $n = I_{2\text{ном}} / I_{1\text{ном}}$, напругу $u_{1k\%}$, кут зсуву фаз ϕ_{1k} . Результати обчислень привести в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Виміряні значення			Обчислені значення		
U_{1k}	P_{1k}	I_1	n	$u_{1k\%}$	ϕ_{1k}

7. Зняти характеристику намагнічування трансформатора. Результати занести в табл. 1.7.

Таблиця 1.7

$U_1, \text{В}$						
$I_{1x}, \text{мА}$						

8. Побудувати векторні діаграми напруг і струмів для режимів холостого ходу і короткого замикання. Побудувати характеристику намагнічування. Зробити висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Призначення і конструкція однофазних трансформаторів.
2. Як визначається коефіцієнт трансформації трансформатора?
3. Як визначаються струм і потужність холостого ходу?
4. Що розуміють під характеристикою намагнічування трансформатора?
Для чого її знімають?
5. Як змінюється магнітний потік в осерді трансформатора при зміні навантаження?
6. Як проводиться дослід короткого замикання трансформатора?

Тема 1.3: Дослідження однофазних випрямлячів

Мета роботи: Дослідити однофазні однопівперіодний і двопівперіодні випрямлячі.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Засвоїти основні теоретичні положення випрямлення змінного струму.
2. Дослідити однопівперіодний випрямляч.
3. Дослідити двопівперіодний випрямляч з середньою точкою.
4. Дослідити двопівперіодний мостовий випрямляч.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Однофазні випрямлячі призначені для перетворення енергії однофазного змінного струму в енергію постійного струму. Розрізняють однопівперіодний, двопівперіодні з середньою точкою та мостовий однофазні випрямлячі.

Однопівперіодний випрямляч (рис.1.9,а) містить трансформатор T і діод VD . Трансформатор призначений для отримання необхідного значення напруги на навантаженні, а діод VD забезпечує її випрямлення.

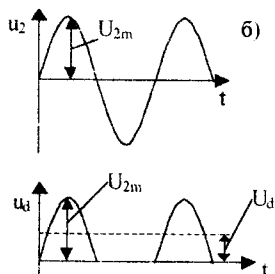
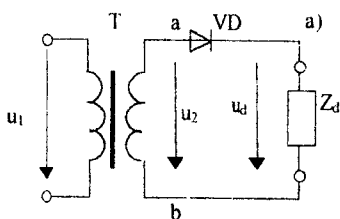


Рисунок 1.9 – Однопівперіодний випрямляч

При ввімкненні первинної обмотки трансформатора в мережу змінного струму з напругою u_1 на вторинній обмотці виникає синусоїдна напруга

$$u_2 = U_{2m} \sin \omega t,$$

де U_{2m} - амплітудне значення напруги. Протягом першої половини періоду напруга u_2 додатна, а це значить, що потенціал точки **a** вищий від потенціалу точки **b**.

В цьому випадку діод **VD** відкритий і до навантаження прикладена напруга вторинної обмотки $u_d = u_2$ (рис. 1.9, б). Протягом другої половини періоду напруга u_2 від'ємна (потенціал точки **a** нижчий від потенціалу точки **b**). Діод **VD** закритий і напруга на навантаженні $u_d = 0$.

Таким чином, випрямлена напруга u_d – це однополярні імпульси синусоїдної форми. Середнє значення випрямленої напруги

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{1}{T} \int_0^T U_{2m} \sin \omega t \, dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_{2m} \sin \omega t \, d\omega t = \\ &= \frac{U_{2m}}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_0^\pi = \frac{U_{2m}}{\pi}. \end{aligned}$$

Випрямлена напруга має значну змінну складову, амплітудне значення якої може бути визначене наближено $U_m \approx U_{2m}/2$ (рис. 1.9, б).

Ефективність роботи випрямляча характеризується коефіцієнтом пульсації, який визначається відношенням амплітуди основної гармоніки змінної складової напруги U_m до середнього значення випрямленої напруги U_d

$$p = \frac{U_m}{U_d}.$$

Випрямляч з середньою точкою (рис. 1.10, а) забезпечує двопівперіодне випрямлення за рахунок зустрічного ввімкнення вторинних півобмоток трансформатора. Протягом першої половини періоду потенціал точки **a** вищий, а потенціал точки **c** нижчий відносно потенціалу точки **b**

(напряга u_2' - додатна, а напряга u_2'' - від'ємна). На цьому інтервалі часу діод **VD1** відкритий і до навантаження прикладена напряга $u_d = u_2'$ (рис. 1.10, б). Протягом другої половини періоду потенціал точки **a** нижчий, а потенціал точки **c** вищий, відносно потенціала точки **b** (напряга u_2' - від'ємна, а напряга u_2'' - додатна). Тому діод **VD2** відкритий, а **VD1** - закритий і напряга на навантаженні $u_d = u_2''$.

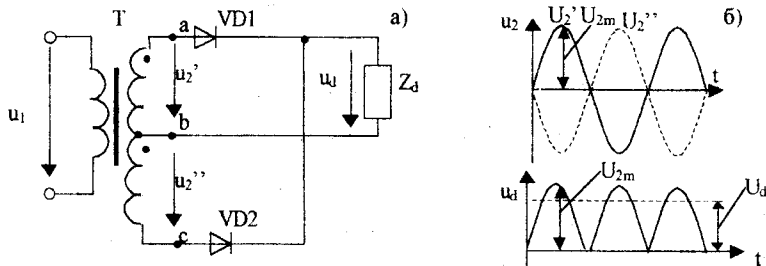


Рисунок 1.10 – Двопівперіодний випрямляч з середньою точкою

Середнє значення випрямленої напруги

$$U_d = \frac{2}{T} \int_0^T U_{2m} \sin \omega t \, dt = \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi U_{2m} \sin \omega t \, d\omega t = \frac{2U_{2m}}{2\pi} (-\cos \omega t) \Big|_0^\pi = \frac{2U_{2m}}{\pi}$$

Амплітудне значення основної гармоніки змінної складової випрямленої напруги (рис. 1.10,б)

$$U_m \approx U_{2m}/2$$

Мостовий випрямляч (рис. 1.11, а) теж забезпечує двопівперіодне випрямлення. Протягом першої половини періоду, коли вищим є потенціал точки **a** відносно точки **b**, відкриті діоди **VD1** та **VD3** і $u_d = u_2$. Протягом другої половини періоду, коли вищим є потенціал точки **b**, будуть відкриті діоди **VD2** та **VD4** і $u_d = -u_2$. Форма напруги на навантаженні збігається з формою напруги випрямляча з середньою точкою (рис. 1.11, б).

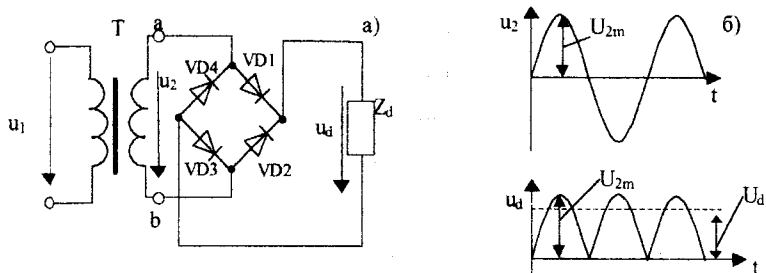


Рисунок 1.11 – Мостовий випрямляч

Для прокращення форми напруги на навантаженні застосовуються згладжувальні фільтри, найпростішим з яких є ємнісний фільтр. Ємнісний фільтр – це конденсатор C великої ємності, який приєднаний паралельно до навантаження (рис. 1.12, а). Звичайно використовується електролітичний конденсатор, який потрібно приєднувати з врахуванням його полярності.

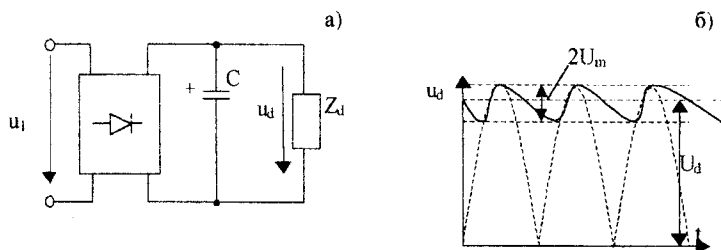


Рисунок 1.12 – Схема ємнісного фільтра

Ємнісний фільтр згладжує пульсації випрямленої напруги за рахунок розряду конденсатора через навантаження при зменшенні напруги на вторинній обмотці трансформатора. Випрямлена напруга (рис. 1.12,б) буде мати значно менші пульсації порівняно з тим, коли фільтр був відсутній. Середнє значення випрямленої напруги (постійна складова) зростає. Значення U_d наближається до U_{2m} .

Амплітуду основної гармоніки U_m змінної складової випрямленої напруги можна визначити за розмахом коливань випрямленої напруги u_d , прийнявши його за $2U_m$.

Основним параметром, що характеризує згладжувальний фільтр, є коефіцієнт згладжування, який визначається за відношенням значень коефіцієнта пульсації при відсутності та при наявності фільтра

$$q = \frac{p_0}{p},$$

де p_0, p - значення коефіцієнта пульсації випрямляча відповідно без фільтра та з фільтром.

ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Лабораторна установка складається з макетів однофазних випрямлячів, вимірювальних приладів і електронного осцилографа.

ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Дослідити однопівперіодний випрямляч (рис. 1.9). Накреслити осцилограми напруги u_d без фільтра, а також при ввімкненні ємнісного фільтра. Для обох випадків за допомогою вольтметра виміряти постійну складову напругу U_d , а за допомогою осцилографа визначити амплітуду основної гармоніки U_m змінної складової напруги u_d . Результати занести в табл. 1.8.

Визначити значення коефіцієнта пульсації p і коефіцієнта згладжування q фільтра.

Таблиця 1.8

Величина	$U_m, \text{В}$	$U_d, \text{В}$	p	q
$C=0$				-
$C= \text{ мкФ}$				

2. За методикою п.1 дослідити випрямляч з середньою точкою.

Результати занести в табл.1.9.

Таблиця 1.9

Величина	U_m , В	U_d , В	ρ	q
$C=0$				-
$C=$ мкФ				

1. За методикою п.1 дослідити мостовий випрямляч. Результати привести в табл.1.10.

Таблиця 1.10

Величина	U_m , В	U_d , В	ρ	q
$C=0$				
$C=$ мкФ				

Зробити висновки по виконаній роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Призначення випрямлячів.
2. Поясніть механізм випрямлення однопівперіодного випрямляча.
3. Як визначається середнє значення випрямленої напруги однопівперіодного випрямляча?
4. Як оцінюється змінна складова випрямленої напруги?
5. Що таке коефіцієнт пульсації випрямляча?
6. Поясніть роботу випрямляча з середньою точкою.
7. Поясніть механізм випрямлення мостовим випрямлячем.
8. Для чого застосовуються згладжувальні фільтри?
9. Як оцінюється ефективність роботи згладжувального фільтра?

Тема 1.4: Контроль відхилень та несиметрії напруг в трифазних електричних мережах

Мета роботи: засвоєння методики оцінки відхилень та несиметрії напруг.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Ознайомитись з вимогами ГОСТ 13109-97 стосовно припустимих значень відхилень та несиметрії напруг.
2. Провести вимірювання напруг та оцінити їх відхилення і несиметрію.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

На рис.1.13 зображена схема заміщення трифазної мережі. Спрощено схема електричної мережі подається у вигляді трифазного симетричного джерела, ЕРС фаз якого \dot{E}_A , \dot{E}_B , \dot{E}_C та трифазного споживача, опори фаз якого Z_A , Z_B , Z_C .

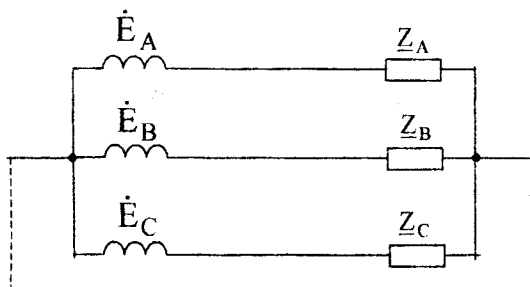


Рисунок 1.13 – Схема трифазної мережі

Трифазним джерелом (трансформатором) створюється трифазна система ЕРС: три синусоїдні ЕРС однакової амплітуди і частоти, що зсунуті по фазі між собою на кут 120 градусів. На рис. 1.14, а приведені

часові залежності ЕРС, а на рис. 1.14, б зображена векторна діаграма цих ЕРС.

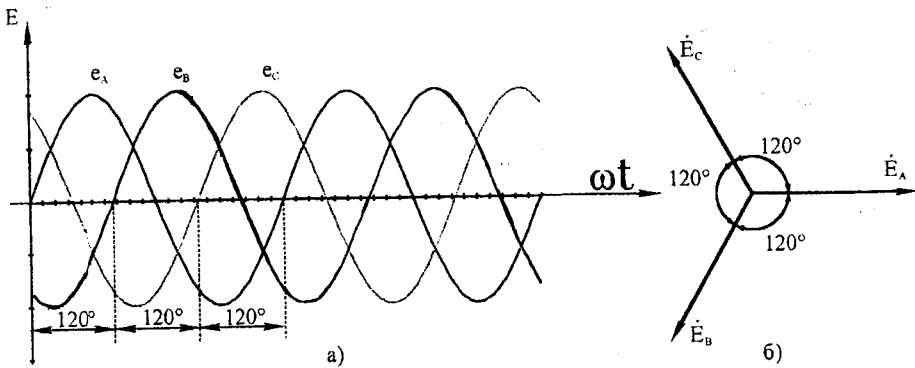


Рисунок 1.14 - Часові залежності і векторні діаграми ЕРС

Нехтуючи падінням напруги в обмотках джерела, можна прийняти, що напруги на фазах джерела дорівнюють їх ЕРС $\dot{U}_A = \dot{E}_A$, $\dot{U}_B = \dot{E}_B$, $\dot{U}_C = \dot{E}_C$. Між початками фаз існують лінійні напруги \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} . Діючі значення лінійних напруг більші в $\sqrt{3}$ разів від діючих значень фазних напруг. Це пояснюється тим, що лінійні напруги визначаються різницею відповідних ЕРС $\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B$, $\dot{U}_{BC} = \dot{E}_B - \dot{E}_C$, $\dot{U}_{CA} = \dot{E}_C - \dot{E}_A$.

Відхилення напруги характеризується показником усталеного відхилення напруги

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100,$$

де $U_{ном}$ – номінальне міжфазне або фазне значення напруги;

U_y – усереднене (на інтервалі 1 хвилину) значення напруги.

Усереднене значення напруги U_y на інтервалі часу 1 хвилину при N відліках визначається за формулою

$$U_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{N}}.$$

Значення U_i в мережах трифазного струму дорівнює діючому значенню напруги основної гармоніки $U_{(1)}$, а в мережах трифазного струму – як діюче значення кожної міжфазної (фазної) напруги основної частоти $U_{(1)i}$, а також - як діюче значення напруги прямої послідовності основної частоти $U_{1(1)i}$.

Значення $U_{1(1)i}$ допускається: 1) визначати методом симетричних складових; 2) за наближеною формулою

$$U_{1(1)i} = (U_{AB(1)i} + U_{BC(1)i} + U_{CA(1)i}) / 3.$$

Згідно з ГОСТ 13109-97 нормально допустиме усталене відхилення напруги ± 5 відсотків, гранично допустиме усталене відхилення напруги ± 10 відсотків.

Несиметрія напруг характеризується двома показниками: коефіцієнтом зворотної послідовності напруг і коефіцієнтом нульової послідовності напруг.

Коефіцієнт зворотної послідовності напруг визначається за формулою:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{ном}} \cdot 100,$$

де $U_{2(1)}$ – діюче значення напруги зворотної послідовності основної частоти;

$U_{ном}$ – номінальна лінійна напруга мережі.

Коефіцієнт нульової послідовності напруг розраховується за формулою:

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{ном.ф}} \cdot 100,$$

де $U_{0(1)}$ – діюче значення напруги нульової послідовності основної частоти;

$U_{ном.ф}$ – номінальна фазна напруга мережі.

Комплексні діючі значення напруг зворотної та нульової послідовності знаходяться за формулами:

$$\dot{U}_{2(1)} = \frac{\dot{U}_{AB(1)} + \dot{U}_{BC(1)}e^{-j120^\circ} + \dot{U}_{CA(1)}e^{j120^\circ}}{3};$$

$$\dot{U}_{0(1)} = \frac{\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C}{3}.$$

Для наближеного визначення напруг зворотної та нульової послідовності на практиці можна користуватися наближеними формулами:

$$U_{2(1)} \approx 0.62(U_{\max(1)} - U_{\min(1)});$$

$$U_{0(1)} \approx 0.62(U_{\max.\phi(1)} - U_{\min.\phi(1)}).$$

де $U_{\max(1)}$, $U_{\min(1)}$ – відповідно найбільше і найменше значення з трьох лінійних (міжфазних) напруг основної частоти;

$U_{\max.\phi(1)}$, $U_{\min.\phi(1)}$ – відповідно найбільше і найменше значення з трьох фазних напруг основної частоти.

Згідно з ГОСТ 13109-97 для коефіцієнтів K_{2U} та K_{0U} встановлені нормально припустимі значення ± 2 відсотки, а гранично припустимі – ± 4 відсотки.

Нормально припустимі значення показників якості повинні знаходитись у вказаних межах не менше 95 відсотків часу кожної доби.

ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Провести вимірювання лінійних (міжфазних) та фазних напруг в досліджуваній мережі в двох режимах. Результати вимірювань занести до табл. 1.11 та 1.12. Розрахувати значення δU , K_{2U} та K_{0U} .

Таблиця 1.11

n			n		
U_{BA}			δU_{BA}		
U_{CB}			δU_{CB}		
U_{AC}			δU_{AC}		
K_{2U}			δU		

Таблиця 1.12

U_A			δU_A		
U_B			δU_B		
U_C			δU_C		
K_{0C}			δU		

2. Зробити висновки про відповідність напруг вимогам ГОСТ 13109-97.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які показники використовуються для оцінки відхилень і несиметрії напруг?
2. Запишіть формули для наближеного визначення цих показників.
3. Для яких величин визначається усталене відхилення напруги в трифазних мережах?
4. Які допустимі значення показників відхилень та несиметрії напруг згідно з ГОСТ 13109-97?

2 ТРИФАЗНІ МЕРЕЖІ З ЄМНІСНИМИ СТРУМАМИ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ

Підвищити надійність роботи високовольтної мережі можна попередивши аварійні наслідки однофазних замикань, що залежать у першу чергу, від струму, який проходить через дугу, а відповідно і від номінальної напруги, конструктивного виконання та довжини електричної лінії, а також від режиму заземлення нейтралі.

Ретельно ці питання будуть вивчатися на старших курсах, але вже по дисципліні робоча професія після вивчення певних розділів електротехніки та засвоєння графоаналітичних методів розрахунків режимів в електричних колах змінного струму, до яких відносяться і трифазні електричні мережі, необхідним є закріплення вказаних знань та навичок на прикладі графоаналітичних розрахунків напруг і струмів у цих мережах.

Мета лабораторного практикуму: 1 - засвоїти методи розрахунків характерних режимів в трифазних електричних мережах та перевірити правильність цих розрахунків методами практичного вимірювання на фізичній лабораторній моделі; 2 - ознайомитись з проблемами захисту трифазних мереж від пошкоджень їх ємнісними струмами короткого замикання на землю.

До мереж з ізолюваною нейтраллю відносяться електрично зв'язані трифазні мережі, які працюють з ізолюваною, відносно землі, нейтраллю. Це, звичайно, мережі з напругою 6, 10, 35 кВ, які мають розвинені кабельні лінії і, відповідно, характеризуються значними ємнісними струмами.

Схема заміщення мережі показана на рис. 2.1. На схемі зображено трифазне джерело живлення, ЕРС фаз якого $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ та струми $\dot{I}_{0A}, \dot{I}_{0B}, \dot{I}_{0C}$; трифазний споживач, опори фаз якого $\underline{Z}_{AN}, \underline{Z}_{BN}, \underline{Z}_{CN}$ та струми $\dot{I}_{AN},$

Для зменшення негативних наслідків таких пошкоджень потрібно, по-перше, зменшити струм у місці пошкодження, щоб не виникала електрична дуга, а по-друге, миттєво вимкнути пошкоджену кабельну лінію.

Для зменшення струму однофазного короткого замикання на землю нейтраль трансформатора з'єднують з землею через дугогасильний реактор, з індуктивністю L_p , який в нормальних режимах роботи не викликає ніяких змін в роботі трифазної мережі. Під час однофазного замикання на землю через вказаний реактор проходить струм \dot{I}_0 . Детальніше про це буде йти мова нижче. Для контролю стану ізоляції в кабельних мережах слідкують за напругою між нейтраллю трансформатора та землею \dot{U}_{03} . Налаштовується релейний захист, відповідний даній електромережі.

Дослідженню режимів в трифазних електричних мережах присвячені подальші три розділи цієї лабораторної роботи (теми 2.1–2.3).

Ці роботи виконуються на лабораторному стенді, підготовленому для дослідження фізичної моделі трифазної електричної мережі, принципова схема якої представлена на рис 2.2.

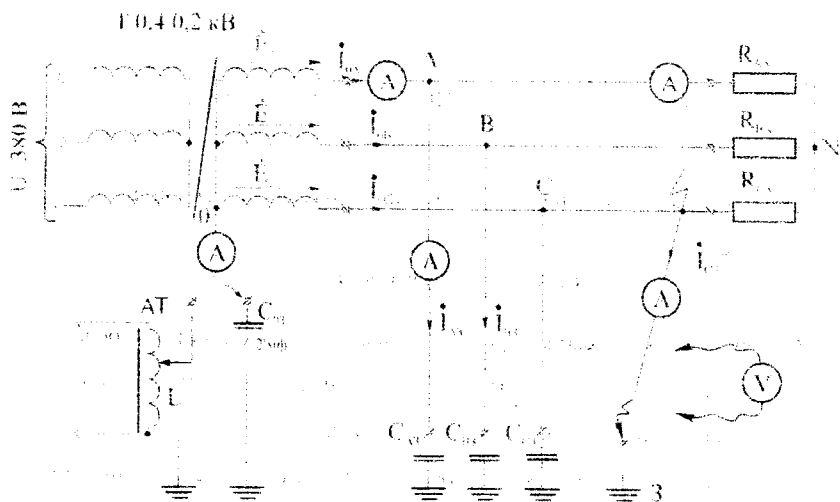
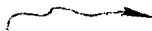


Рисунок 2.2 Принципова схема фізичної моделі трифазної мережі:

Т 0,4/0,23 – трансформатор трифазний ($S = 200\text{ВА}$, $U_n = 380/220\text{ В}$); АТ – лабораторний автотрансформатор, який використовується як змінний індуктивний опір з залізним осердям ($X_L = 0 \div 3000\text{ Ом}$); R_{II} – активний опір навантаження ($R_{II} = 730\text{ Ом}$); $C_{03} \div C_{C3}$ – конденсатори ємністю 2 мкФ ;  – гнучкий провід з кінцевником для короткочасного приєднання (торкання) до точок схеми.

Тема 2.1 Дослідження нормального режиму напруг та струмів в трифазних мережах з симетричним навантаженням

Мета роботи: закріпити навички розрахунку трифазних електричних кіл.

Теоретичні відомості

В нормальному режимі роботи трифазні електричні мережі з ізольованою нейтраллю, з достатньою для практики точністю, можуть вважатися симетричними. Тобто, в таких мережах опори навантаження і опори ліній електромережі можна вважати однаковими. Схема заміщення такої мережі відповідає рис. 2.1, але без замикання на землю (коло струму \dot{I}_{A3}^{av} при вимкнутій індуктивності L_p , контакт К у розімкненому стані).

На фізичній моделі (рис. 2.2) фаза С (як і будь-яка інша) з землею З не замикається. Нейтраль 0 з землею теж не з'єднується. В колі діє трифазне джерело живлення (трансформатор Т0,4/0,23 кВ), ЕРС якого \dot{E}_A , \dot{E}_B , \dot{E}_C , трифазний споживач R_A , R_B , R_C . Лінія електропередачі представлена ємностями C_A , C_B , C_C між її проводами і землею.

Трифазним джерелом (синхронним генератором, трансформатором) створюється трифазна система ЕРС: три синусоїдні ЕРС однакової амплітуди і частоти, що зсунуті по фазі між собою на кут 120 градусів. На рис. 2.3.а приведені часові залежності ЕРС, а на рис. 2.3.б зображена векторна діаграма цих ЕРС, які обертаються із кутовою швидкістю, що дорівнює кутовій частоті ω . Миттєві значення синусоїдальної величини визначаються проєкціями на вісь ординат вектора, який обертається.

Будь-який вектор математично може бути описаний у комплексній формі на комплексній площині, а математичні операції з комплексними

величинами студенти вивчають з дисциплін вищої математики, тому надалі всі розрахунки режимів в електричних мережах будуть проводитися комплексним (символічним) методом. Деякі сучасні калькулятори дозволяють проводити операції з комплексними числами.

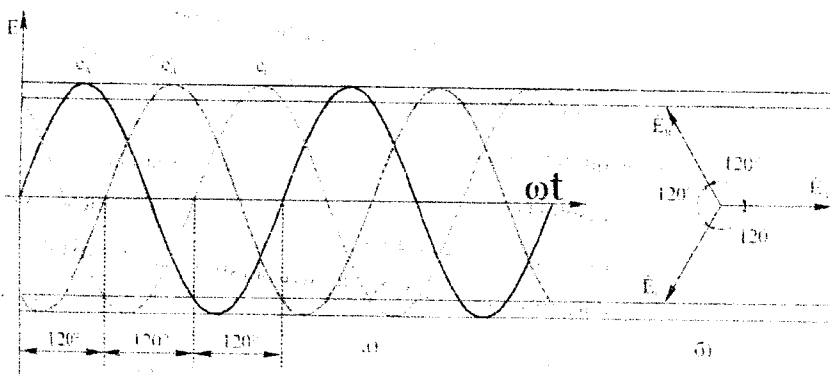


Рисунок 2.3 - Часові залежності - а, та векторні діаграми ЕРС - б

Нехтуючи падінням напруги в обмотках джерела, можна прийняти, що напруги на фазах джерела дорівнюють їх ЕРС $\dot{U}_A = \dot{E}_A$, $\dot{U}_B = \dot{E}_B$, $\dot{U}_C = \dot{E}_C$, між початками фаз існують лінійні напруги \dot{U}_{AB} , \dot{U}_{BC} , \dot{U}_{CA} . Діючі значення лінійних напруг більші в $\sqrt{3}$ разів від діючих значень фазних напруг. Це пояснюється тим, що лінійні напруги визначаються різницею відповідних ЕРС з потенціально-векторної діаграми напруг (рис 2.4. а).

$$\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B;$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{E}_B - \dot{E}_C;$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{E}_C - \dot{E}_A.$$

Зазначена векторна діаграма напруг є також і діаграмою потенціалів точок кола, між якими визначаються напруги. Так, будь-який вектор напруги, наприклад, між точками А та В, тобто \dot{U}_{AB} , дорівнює різниці

потенціалів в цих точках. Графічно відображається у вигляді вектора направлено від точки В до точки А. Вектор завжди направляється до першої літери індекса. На рис. 2.4.а приведена векторна діаграма фазних $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ та лінійних $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ напруг. Як видно з цієї векторної діаграми і електричної схеми трифазної системи, фазні напруги \dot{U}_A, \dot{U}_B та \dot{U}_C фактично є різницями потенціалів між нейтраллю трансформатора 0 та фазами А, В та С (на зовнішніх виводах обмоток цього трансформатора), тому в центрі діаграми (рис. 2.4.а) знаходиться потенціал нейтралі 0.

При під'єднанні навантаження Z_A, Z_B, Z_C в фазах приймача з'являються струми $\dot{I}_{AN}, \dot{I}_{BN}, \dot{I}_{CN}$, які зсунуті по фазі відносно своїх напруг на кути $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$. Якщо опори фаз навантаження однакові (симетричне навантаження), то і струми будуть рівними за значенням і зсунуті по фазі відносно відповідних напруг на однакові кути (рис 2.4.б).

Якщо трифазна система струмів або напруг симетрична, то миттєва сума струмів в трьох фазах в будь-яку мить дорівнює нулю:

$$i_{AN} + i_{BN} + i_{CN} = 0,$$

тому, якщо з'єднати четвертим проводом нейтралі трансформатора та навантаження, струм в цьому проводі буде відсутній. Це означає, що потенціал точки N дорівнює потенціалу точки 0, а напруга

$$\dot{U}_{AN} = \dot{U}_A,$$

$$\dot{U}_{BN} = \dot{U}_B,$$

$$\dot{U}_{CN} = \dot{U}_C.$$

Ємності кожного з фазних проводів лінії відносно землі, як правило, рівні:

$$C_{A3} = C_{B3} = C_{C3},$$

тому напруги фаз відносно землі:

$$\dot{U}_{A3} = \dot{U}_A;$$

$$\dot{U}_{B3} = \dot{U}_B;$$

$$\dot{U}_{C3} = \dot{U}_C,$$

струми на землю \dot{I}_{A3} , \dot{I}_{B3} , \dot{I}_{C3} однакові за значенням і зсунуті між собою на кут 120 градусів (струми через ємності випереджують відповідні напруги на кут 90 градусів).

Оскільки сума миттєвих значень та векторів симетричних струмів на землю дорівнює нулю, то струм через опір Z_{30} між землею 3 і нейтраллю трансформатора 0 також буде дорівнюватись нулю, а тому потенціали землі 3 та нейтралі 0 теж однакові. Тому між землею та нейтраллю трансформатора напруги немає і, якщо їх навіть з'єднати через будь-який опір, то через нього струм проходить не буде і режими трифазної мережі не зміняться.

Струми в фазах розраховуються за законом Ома у комплексній формі:

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{AN} &= \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_{AN}}; & \dot{I}_{A3} &= \frac{\dot{U}_{A3}}{Z_{A3}}; \\ \dot{I}_{BN} &= \frac{\dot{U}_{BN}}{Z_{BN}}; & \dot{I}_{B3} &= \frac{\dot{U}_{B3}}{Z_{B3}}; \\ \dot{I}_{CN} &= \frac{\dot{U}_{CN}}{Z_{CN}}; & \dot{I}_{C3} &= \frac{\dot{U}_{C3}}{Z_{C3}}; \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де \dot{U}_{AN} , \dot{U}_{BN} , \dot{U}_{CN} – комплексні значення напруг відповідних фаз на навантаженні (дорівнюють фазним напругам); Z_{AN} , Z_{BN} , Z_{CN} – комплексні значення фазних опорів навантаження; Z_{A3} , Z_{B3} , Z_{C3} – комплексні значення ємнісних опорів між проводами фаз та землею 3.

Комплексне значення ємнісного опору між проводом і землею визначаються за формулою

$$Z_C = -j \frac{1}{\omega C}, \quad (2.2)$$

де $j = \sqrt{-1} = e^{j\frac{\pi}{2}}$ — уявне число, або обертальний множник, множення на який рівноцінне обертанню вектора (без зміни його довжини) на кут 90 градусів, або $\frac{\pi}{2}$ у позитивному напрямку, тобто проти напрямку обертання годинникової стрілки.

Комплексні значення синусоїдальних напруг та струмів (комплексні напруги та струми) – це комплексні величини, незалежні від часу, модулі та аргументи яких дорівнюють відповідно діючим значенням та початковим фазам даних синусоїдальних напруг і струмів.

Комплексний опір електричного кола дорівнює відношенню комплексної напруги на затискачах даного кола до комплексного струму у цьому колі.

Діючі значення напруг та струмів у фазах в симетричному режимі збігаються з відповідними значеннями фази А, а їх вектори зсунуті відносно векторів фази А на відповідні кути 120 та 240 електричних градусів.

Оскільки опір навантаження фізичної моделі має активний характер $Z_A = R_n$, то вектор струму \dot{I}_{AN} збігається по фазі з відповідним вектором напруги.

Струм \dot{I}_{A3} між фазою А та землею розраховується як ємнісний, що випереджає відповідну напругу \dot{U}_{AN} на кут 90 градусів.

Векторна діаграма напруг відносно землі і струмів на землю показана на рис. 2.4 в.

Загальний струм у фазах джерела розраховується графоаналітичним методом як векторна сума струмів \dot{I}_{AN} та \dot{I}_{A3} .

Струми в фазах джерела

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{0A} &= \dot{I}_{AN} + \dot{I}_{A3}; \\ \dot{I}_{0B} &= \dot{I}_{BN} + \dot{I}_{B3}; \\ \dot{I}_{0C} &= \dot{I}_{CN} + \dot{I}_{C3} \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

теж утворюють симетричну систему (вони рівні за діючими значеннями і зсунуті по фазі на кут 120 градусів між собою).

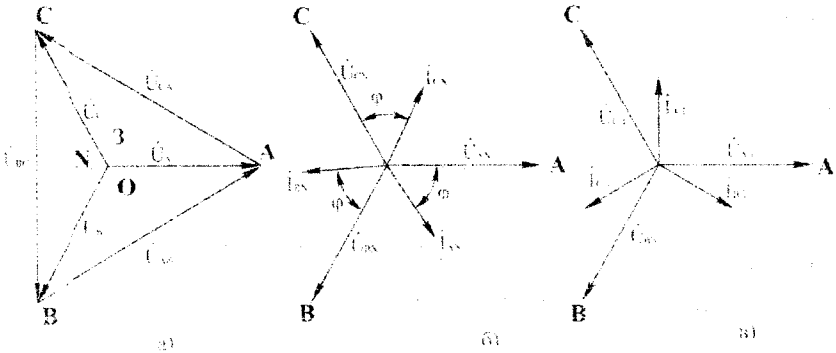


Рисунок 2.4 - Векторні діаграми напруг – а, і струмів – б, в

В нормальному режимі, коли пошкоджень в мережі немає, сума комплексних напруг і струмів

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{A3} + \dot{U}_{B3} + \dot{U}_{C3} &= 0 \\ \dot{I}_{A3} + \dot{I}_{B3} + \dot{I}_{C3} &= 0 \end{aligned} \right\}; \quad (2.4)$$

Для зручності аналізу вводять поняття напруги нульової послідовності відносно землі

$$\dot{U}_0 = \frac{1}{3}(\dot{U}_{A3} + \dot{U}_{B3} + \dot{U}_{C3}), \quad (2.5)$$

та струму нульової послідовності

$$i_0 = \frac{1}{3}(i_{A3} + i_{B3} + i_{C3}) \quad (2.6)$$

При відсутності пошкоджень

$$U_0 = 0;$$

$$i_0 = 0.$$

Потенціали землі 3 та нейтралі джерела 0 збігаються (див. рис. 2.4.а), тому між землею та нейтраллю трансформатора напруга відсутня і якщо їх навіть з'єднати через будь-який опір, то через нього струм проходити не буде і режими трифазної мережі не зміняться.

Хід виконання роботи

1. Для кіл (рис. 2.1 та 2.2) при відсутності пошкоджень (в симетричному нормальному режимі) за даними принципової схеми (рис. 2.2) визначити за формулами (2.1) – (2.3) фазні напруги та струми i_{AN} , i_{A3} , i_{0A} . Побудувати в масштабі векторні діаграми визначених напруг та струмів згідно з рис. 2.4, 2.5, 2.6.

2. Зібрати коло згідно з рис. 2.2. Виміряти лінійні та фазні напруги. Виміряти напруги між землею 3 та нейтраллю 0 трансформатора. Виміряти струми i_{AN} , i_{A3} , i_{0A} .

3. Занести розраховані та виміряні значення напруг і струмів у табл. 2.1. Визначити найбільшу (відносно до розрахованих значень) похибку вимірювань.

4. Зробити висновки.

Практичні рекомендації до розрахунків

1. Розрахунки напруг та струмів в цій та послідуючих лабораторних роботах робляться графоаналітичним методом. Спочатку в масштабі будується векторна діаграма потенціалів та напруг, з якої визначаються величини та напрямки векторів, необхідних для розрахунків напруг. Маючи вектори напруг на окремих елементах схеми та значення опорів цих елементів, розраховують за законом Ома струми.

Студентам 1-го курсу, які ще не мають досвіду в цих розрахунках, можна рекомендувати дво індексне позначення величин, наприклад,

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}}, \quad (2.7)$$

де \dot{I}_{AB} , \dot{U}_{AB} , Z_{AB} – діючі значення напруги, струму та значення опору. Напруга \dot{U}_{AB} дорівнює різниці комплексних потенціалів в точках А та В, тобто

$$\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B,$$

де \dot{E}_A , \dot{E}_B — комплексні потенціали в точках А та В. Якщо буквене позначення потенціалів точок на потенціальній діаграмі збігається з позначенням самих точок на схемі, тобто $\dot{E}_A \rightarrow A$, $\dot{E}_B \rightarrow B$, вектор напруги \dot{U}_{AB} буде направлений на потенціально-векторній діаграмі від точки А до точки В (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 - Спрощення записів на потенціально векторних діаграмах.

Струм I_{AB} проходить від точки А до точки В. Цей струм буває зсунутий відносно напруги U_{AB} на певний кут φ_{AB} , в залежності від характеру навантаження.

Значення опору Z_{AB} є опором між точками А та В кола. Визначається в залежності від характеру опорів і схеми з'єднання. Розрахунок опору ємнісних елементів наведений у попередніх лабораторних роботах з загальної електротехніки (тема 1.1).

2. При побудові векторних діаграм треба пам'ятати та використовувати три необхідні правила:

- Будь-які вектори можна переносити паралельно до себе у будь-яке місце векторної діаграми.
- При складанні декількох векторів (в тому числі і двох) замість правила паралелограма рекомендується користуватись таким правилом: від кінця попереднього вектора відкладати наступний. Результуючий або сумарний вектор – це вектор який направлений від початку першого вектора до кінця останнього.
- При відніманні двох векторів, результуючий вектор направляється від кінця вектора, який віднімається, в кінець вектора, що зменшується (від якого віднімається).

Зазначені правила пояснюються таким рисунком (рис 2.5):

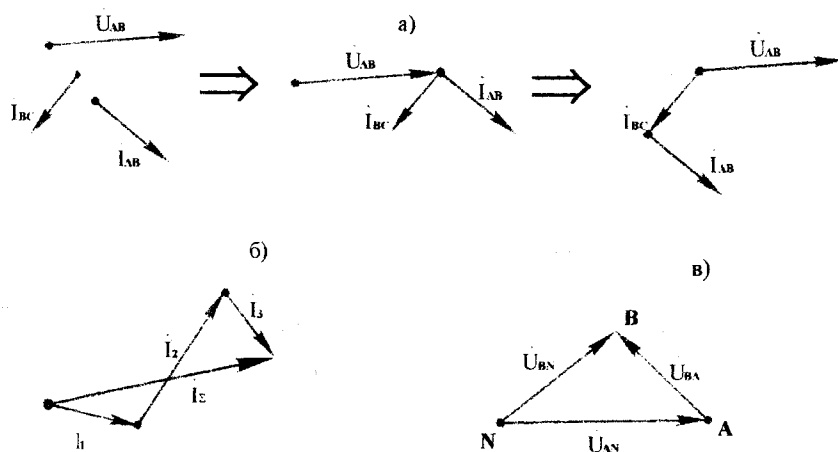


Рисунок 2.5 - Правила дій з векторами: а – правило переносу векторів, б -- правило додавання векторів ($\vec{I}_\Sigma = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$), в – правило віднімання векторів ($\vec{I}_{BA} = \vec{I}_{BN} - \vec{I}_{AN}$).

Для прикладу на рис. 2.6 приведена потенціально-векторна діаграма частини трифазного кола.

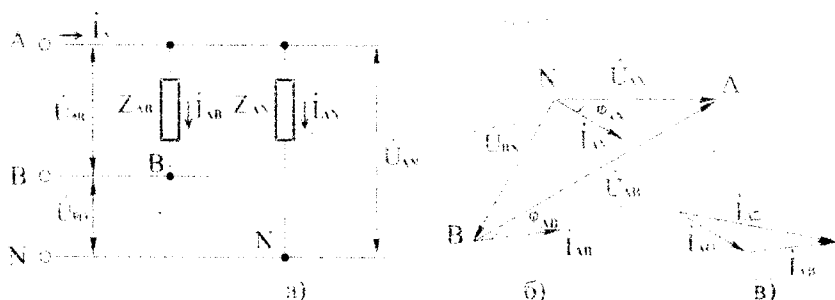


Рисунок 2.6 - Потенціально-векторна діаграма частини трифазного кола а – частина трифазного кола, б – потенціально-векторна діаграма напруг та струмів, в – результуюча векторна діаграма струмів після додавання двох струмів.

Тема 2.2 Дослідження режимів в трифазних електричних мережах з ізольованою нейтраллю при замиканні однієї фази на землю

Мета роботи: 1. Ознайомитися з проблемами аварійності кабельних ліній в трифазних мережах з ізольованою нейтраллю.

Теоретичні відомості

При пошкодженні фазної ізоляції, наприклад, між фазою С та землею З виникає аварійний струм замикання на землю $I_{CЗ}^{ab}$, обумовлений наявністю ємностей між землею та проводами інших непошкоджених фаз, (див. розрахункову схему на рис. 2.1 при роз'єднаному контакті К).

Якщо в таких лініях, особливо в кабельній, струм замикання на землю перевищуватиме певну величину, то в місці пошкодження виникає електрична дуга, яка швидко зруйнує цю лінію.

Оскільки нейтраль від землі ізольована, то сума всіх трьох струмів від фаз А, В та С, що ідуть на землю, дорівнює нулю. В цьому випадку два струми з трьох ідуть на землю через ємнісні опори, а третій – через, майже, нульовий опір місця пошкодження.

Векторні діаграми напруг і струмів у випадку пошкодження фази С показано на рис .2.7.

На цій діаграмі видно, що при замиканні фази С на землю, потенціал цієї фази стає рівним потенціалу землі З, точка З з центру діаграми (рис.2.4.а) перейшла в точку С (рис.2.7.а). Напруга між точкою С та З (фаза-земля) зникає, а вектори напруг між непошкодженими фазами і землею U_{AZ} та U_{BZ} , в порівнянні з попередніми значеннями, (рис.2.4.б,в) збільшуються у З разів, і відповідно, повернувшись, збігаються з

векторами лінійних напруг \dot{U}_{AC} та \dot{U}_{BC} . Вектори фазних напруг між фазами та нейтраллями \dot{U}_{AN} , \dot{U}_{BN} , \dot{U}_{CN} , \dot{U}_{A0} , \dot{U}_{B0} , \dot{U}_{C0} залишаються без змін. Між землею 3 та нейтраллю 0 з'являється напруга \dot{U}_{30} , яка дорівнює фазній напрузі \dot{U}_{C0} .

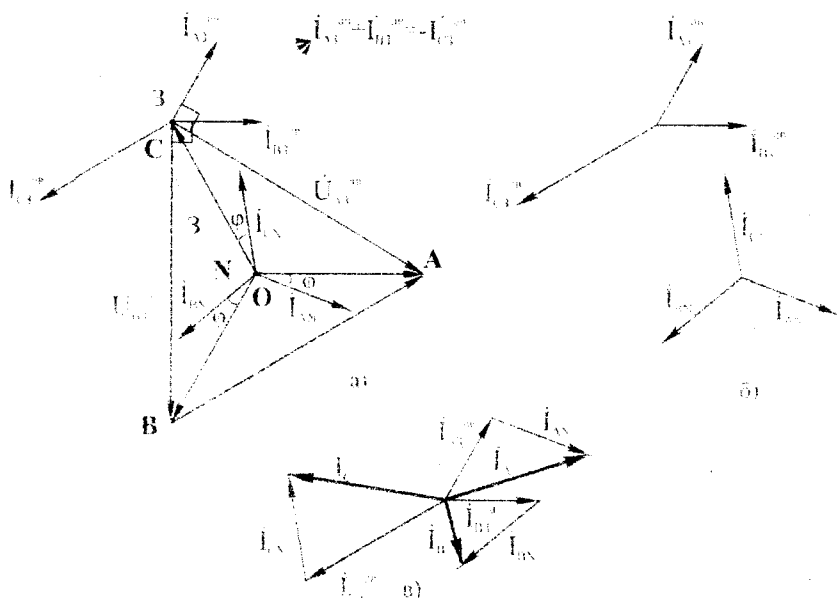


Рисунок 2.7 - Діаграма напруг і струмів при пошкодженні фази С в електромережі з ізольованою нейтраллю: а - загальна діаграма; б - вилучені з загальної діаграми складові вектори струмів; в - результуюча діаграма струмів

Струми навантаження між фазами А, В та С і нейтраллю N – \dot{I}_{AN} , \dot{I}_{BN} , \dot{I}_{CN} залишаються такими ж як і були до пошкодження ізоляції однієї з фаз і визначаються згідно з законом Ома за формулами (2.1).

Векторні діаграми струмів на рис. 2.7 відповідають активно-індуктивному навантаженню, яке найбільш характерне для електромереж

(струми відстають по фазі на певний кут). На фізичній моделі трифазної мережі опори навантаження активні і ці струми збігаються по фазі з напругами.

Ємнісні струми між непошкодженими фазами А та В і землею випереджають напругу на кут 90 градусів. Розраховуються також за законом Ома, тобто за формулами (2.1) - (2.2).

Струм між пошкодженою фазою С та землею I_{C3} не може бути визначений за законом Ома, оскільки відносна напруга U_{C3} дорівнює нулю, так само як і опір між фазою С та землею Z_{C3} . У цьому випадку має місце невизначеність

$$I_{C3} = \frac{U_{C3}}{Z_{C3}} = \frac{0}{0} = \infty.$$

Тому цей струм визначається при умові, що сума фазних струмів у трифазній трипровідній мережі дорівнює нулю, тобто:

$$I_{A3} + I_{B3} + I_{C3} = 0, \quad (2.8)$$

або

$$I_{C3} = -(I_{A3} + I_{B3}). \quad (2.9)$$

Струм джерела будь-якої фази визначається як векторна сума обох струмів цієї фази, а саме: струму на землю від даної фази, за формулою (2.3).

Хід виконання роботи

1. Відповідно до вихідних даних лабораторної фізичної моделі трифазної мережі з ізолюваною нейтраллю згідно з рис. 2.7 та формулами (2.1) – (2.3), (2.5), (2.9) розрахувати режими її напруг і струмів при однофазному замиканні на землю фази С (розрахунки

провести графоаналітичним методом, при цьому у масштабі в процесі розрахунків побудувати потенціально-векторні діаграми напруг та струмів). Результати розрахунків занести у відповідну таблицю розрахованих та вимірених величин.

2. Зібрати модель трифазної електромережі з ізольованою нейтраллю та замкнутою на землю фазою С. Виміряти струми і напруги у цій моделі, занести результати вимірів у таблицю розрахованих та вимірених величин. Порівняти значення відповідних величин.
3. Визначити найбільшу, відносно розрахованих величин, похибку вимірювань.
4. Визначити у скільки разів струм замикання на землю цієї фази більший ніж при відсутності пошкодження.
5. Зробити висновки.

Тема 2.3 Проблемна лабораторна робота – дослідження режиму компенсації смісного струму замикання на землю в трифазних електричних мережах

Мета роботи: ознайомитися з методом зниження аврійності в кабельних лініях електричних трифазних мереж за допомогою індуктивних дугогасильних котушок.

Теоретичні відомості

Як досліджено в попередій лабораторній роботі (тема 2.2), при пошкодженні фазної ізоляції в трифазних мережах, наприклад, між фазою С та землею 0, в місці пошкодження виникає аварійний струм замикання на землю $I_{C0}^{ан}$.

Цей струм в мережах з ізольованою нейтраллю дорівнює векторній сумі смісних струмів двох інших фаз, на яких в момент аварії збільшується напруга до її лінійного значення (див. рис. 2.7.а та формули (2.1) – (2.8)).

Якщо нейтраль джерела живлення 0 з'єднати з землею З через опір Z_{30} , то згідно з формулою (2.7) через цей опір проходить струм I_{30} , який визначається за законом Ома:

$$I_{30} = \frac{U_{30}}{Z_{30}} = \frac{U_{C0}}{Z_{30}}. \quad (2.10)$$

Оскільки через землю на нейтраль замкнулось електричне коло, то тепер сума всіх трьох фазних струмів, що проходять на землю через ємнісні опори, вже не будуть дорівнювати нулю, а їхня сума буде проходити через землю та опір Z_{30} в нейтраль джерела. Згідно з формулою (2.6) з'являється струм нульової послідовності, потрібна величина якого

саме і буде дорівнювати струму $I_{\text{ш}}$, тобто:

$$I_{\text{ш}} = 3I_0 = I_{\text{АЗ}}^{\text{ан}} + I_{\text{ВЗ}}^{\text{ан}} + I_{\text{СЗ}}^{\text{ан}}. \quad (2.11)$$

В цій формулі струми неушкоджених фаз (у нашому прикладі $I_{\text{АЗ}}$ та $I_{\text{ВЗ}}$ залишаються без змін в порівнянні з режимом мережі з ізольованою нейтраллю, а струм замикання на землю пошкодженої фази $I_{\text{СЗ}}^{\text{ан}}$ згідно з (2.11) визначається як:

$$I_{\text{СЗ}} = I_{\text{ш}} - (I_{\text{АЗ}} + I_{\text{ВЗ}}). \quad (2.12)$$

Аналіз векторних діаграм рис. 2.7 та формул (2.10) - (2.12) дозволяє зробити такі висновки:

- Аварійний ємнісний струм однофазного замикання на землю в трифазних електричних мережах залежить від номінальної напруги електромережі $\dot{U}_{\text{ном}}$; від ємності ліній електропередачі відносно землі $C_{\text{АЗ}}, C_{\text{ВЗ}}, C_{\text{СЗ}}$; від комплексного значення опору, через який заземлена нейтраль джерела $Z_{\text{З0}}$.
- Існує такий опір $Z_{\text{З0}}$, при підключенні якого ємнісний струм однофазного замикання в місці пошкодження $I_{\text{СЗ}}^{\text{ан}}$ дорівнюватиме нулю.

Хід виконання роботи

1. Відповідно до результатів попередньої роботи, на основі графоаналітичних розрахунків проаналізувати як буде змінюватись струм $I_{\text{СЗ}}^{\text{ан}}$ при підключенні між нейтраллю 0 та землею З однакових за модулем опорів різного характеру – ємнісного, активного та індуктивного, тобто:

- | | |
|----|-----------------------------|
| а) | $X_C = \frac{1}{\omega C};$ |
| б) | $R = X_C;$ |
| в) | $X_L = X_C;$ |

де $C = C_{\text{АЗ}} = C_{\text{ВЗ}} = C_{\text{СЗ}} = 2 \text{ мкФ}$.

2. Розрахувати опір $Z_{\text{З0}}$, який треба приєднати, щоб повністю скомпенсувати ємнісний струм однофазного замикання на землю в місці пошкодження $I_{\text{СЗ}}^{\text{ан}}$.

3. Зібрати модель трифазної мережі із замкнутою на землю фазою С та заземленою нейтраллю через:

а) ємність $C = 2 \text{ мкФ}$. Виконати вимірювання струмів і напруг, результати вимірювань занести у відповідну таблицю розрахованих та вимірюваних величин;

б) регульовану індуктивність L_{30} . Регулюючи значення L_{30} , досягти найменшого значення струму I_{C3}^{ab} . Методом амперметра-вольтметра визначити індуктивний опір X_L , прийнявши $X_L \approx Z_{30}$. Виконати вимірювання струмів та напруг. Результати вимірювань занести у табл. 2.1, розрахованих та вимірянних величин;

4. Визначити найбільшу похибку досліджень на моделі відносно виконаних розрахунків.

5. Аналогічно рис. 2.7 намалювати в масштабі до розрахованих величин векторну діаграму напруг та струмів в електромережі з компенсованою нейтраллю при пошкодженні ізоляції фази С.

6. Зробити висновки.

Таблиця 2.1 - Розраховані та виміряні величини

Параметри режиму	Одиниці вимірювань	Режим нормальний		Однофазне замикання на землю фази С			
		Нейтраль ізольована		Нейтраль ізольована		Нейтраль заземлена	
		розрахунки	виміри	розрахунки	виміри	розрахунки	Виміри
1. U_{A0}	В						
2. U_{B0}	В						
3. U_{C0}	В						
4. U_{AB}	В						
5. U_{BC}	В						
6. U_{CA}	В						
7. U_{03}	В						
8. U_{C3}	В						
9. I_{0A}	А						
10. I_{AN}	А						
11. I_{A3}	А						
12. I_{C3}	А						
13. I_{30}	А						
14. Z_{30}	Ом						
15. X_C	Ом						

3 МЕТОДИ І ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Ізоляція – один із важливих елементів електрообладнання, який безпосередньо визначає надійність його роботи. Найбільш поширеною причиною порушень електропостачання споживачів і приймачів електроенергії є пробій або перекриття ізоляції. При цьому виникає електрична дуга, яка може причинити значну шкоду електрообладнанню.

Основні показники якості ізоляції - електрична міцність, тепло - і вологостійкість, механічна стійкість і теплопровідність.

В процесі експлуатації ізоляція зазнає значного впливу електричних, механічних і теплових факторів, впливу навколишнього середовища і поступово змінює свої початкові властивості. Наслідки цих впливів багато в чому залежать від виду ізоляції. Розрізняють ізоляцію тверду (фарфор, скло, пластиаси), бавовняно-паперову (обмотки електричних машин та трансформаторів і котушки комутаційних апаратів), рідку (трансформаторні і мінеральні масла) та різні композиції із твердих і рідких матеріалів.

Задача експлуатації - організація контролю за станом ізоляції, який би дозволив своєчасно виявити небезпечні зміни ще до того, як виникають пошкодження. Однією із важливих форм такого контролю є огляди і профілактичні (попереджувальні) випробування. До методики проведення випробувань пред'являються такі вимоги:

- випробування не повинні приводити до пошкоджень,
- позитивні результати свідчать про можливість безаварійної роботи обладнання до наступного випробування або ремонту,
- проведення випробувань повинно бути, по можливості, більш простим, а випробувальне обладнання - зручним для транспортування, компактним і безпечним при використанні.

Критерії, які визначають стан ізоляції електричних машин:

- абсолютне значення опору ізоляції R_{60} , яке виміряне мегометром при температурі не нижче плюс 10 градусів за Цельсієм протягом 60 сек.,

- значення коефіцієнта абсорбції $K_{\text{абс}} = R_{60} / R_{15}$, яке вимірюється при температурі 10-30 градусів за Цельсієм (де R_{15} - опір ізоляції, який вимірюється мегометром при обертанні його рукоятки протягом 15 сек.)

- форма графіка залежності струмів витoku через ізоляцію обмотки від випробувальної напруги випрямленого струму $i_{\text{вип}} = f(U_{\text{вип}})$ і значення коефіцієнта нелінійності $K_{\text{нел}}$.

Норми для наведених вище критеріїв ізоляції і методика їх вимірювання наведені нижче.

Для ввімкнення машин без сушки необхідно виконувати такі вимоги:

- R_{60} і $K_{\text{абс}}$ в межах норми, у випадку відхилення однієї із величин від норми, визначають $i_{\text{вип}}$ і $K_{\text{нел}}$ і ввімкнення допускається за умови виконання однієї з таких комбінацій:

- R_{60} і $i_{\text{вип}}$ в межах норми, при $K_{\text{абс}} \geq 1,1$ і $K_{\text{нел}} \leq 1,2$;

- $K_{\text{абс}}$ і $i_{\text{вип}}$ в межах норми, при $K_{\text{нел}} \leq 1,2$.

Для машин 2-ї групи (генератори і синхронні компенсатори, електродвигуни потужністю більше 5000 кВт) з номінальною напругою нище 15,75 кВ, ввімкнення допускається при виконанні однієї з комбінацій:

- R_{60} і $i_{\text{вип}}$ в межах норми, при $K_{\text{абс}} \geq 1,2$ і $K_{\text{нел}} \leq 1,3$;

- $K_{\text{абс}}$ і $i_{\text{вип}}$ в межах норми, при $K_{\text{нел}} \leq 1,2$.

Для двигунів змінного струму, які мають нерозбірне з'єднання обмоток по фазах, а також генераторів з безпосереднім водяним охолодженням обмоток статора і приєднаними до обмотки колекторами охолодження, струми витoku не вимірюють. В цьому випадку допускається ввімкнення машини без сушки при виконанні однієї із комбінацій:

- R_{60} для всіх фаз в межах норми;

- $K_{\text{абс}}$ в межах норми при $R_{15} \geq 0,5 R_{60}$.

У всіх випадках необхідно визначити R_{60} і $K_{\text{абс}}$. Якщо норми не виконуються, машина повинна бути піддана сушці і повторним випробуванням. Опір ізоляції, коефіцієнт абсорбції і характеристики витoku машин постійного струму не нормують.

Тема 3.1: Вимірювання опору ізоляції

Мета роботи: вивчити методи, конструкцію і принципи роботи технічних засобів контролю ізоляції електрообладнання, придбати практичні навички вимірювання опору ізоляції електрообладнання різними технічними засобами.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Познайомитись із загальними теоретичними відомостями про ізоляцію електрообладнання і критеріями оцінки її стану.
2. Вивчити методи і технічні засоби контролю ізоляції електрообладнання (електричних машин, трансформаторів, електричних мереж і електроапаратів). Для цього використовуються дані методичні вказівки і наведена нижче література.
3. Виміряти опір ізоляції за допомогою мегометра:
 - електричних двигунів;
 - високовольтних трансформаторів;
 - високовольтних вимикачів;
 - електричних апаратів до 1000 В.
4. Виміряти коефіцієнт абсорбції асинхронного електродвигуна.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Опір ізоляції і коефіцієнт абсорбції вимірюють за допомогою мегометра, принципова схема якого показана на рис.3.1.

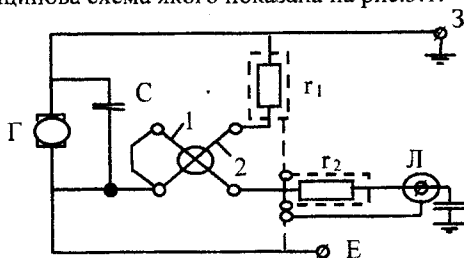


Рисунок 3.1 - Принципова схема мегометра

Тут Г – генератор постійного струму; 1 і 2 – послідовна і паралельна обмотки логометра; r_1, r_2 - обмежувальні опори; Л – лінійний затискувач; З – затискувач для приєднання заземлення (корпуса); Е – затискувач екрана.

Мегометри випускаються на напругу 500, 1000 (М 1101) і 2500 (М-0,5) В мають дві шкали, які дозволяють вимірювати як великі опори ізоляції R_{i3} (в мегомах), так і малі (в кілоомах). Показання їх відповідають градуїровці шкали при частоті обертання 90.....150 об/хвил.

Вимірювання мегометром виконують в такій послідовності. Для перевірки затискувачі З і Л замикають накоротко і обертають рукоятку; при цьому стрілка повинна стати проти поділки шкали 0. Після цього закоротку знімають. При повторному нормальному обертанні стрілка приладу повинна стати проти поділки шкали 0. Якщо ці вимоги не виконуються, прилад необхідно відремонтувати. Після перевірки об'єкт заземляють на 2-3 хв., щоб зняти залишкові заряди, які можуть вплинути на показання приладу, і тільки після цього здійснюють вимірювання.

При вимірюванні абсолютної величини опору ізоляції апарата (машини, трансформатора) струмоведучу його частину приєднують спеціальним проводом (з підсиленою ізоляцією, наприклад, ПВЛ) до виводу Л мегометра. Вивід З і конструкції, відносно яких виконують вимірювання, надійно заземляють через загальний контур заземлення. Опір ізоляції R_{i3} визначається за показанням стрілки мегометра, яка зупинилась через 60 секунд після подачі нормальної напруги (що має місце при обертанні рукоятки з частотою 90....150 об/хвил., а при застосуванні катодного мегометра – після його прогрівання), по шкалі, яка відповідає стану перемикача.

При вимірюванні коефіцієнта абсорбції K_{abc} рекомендується для точності вимірювання спочатку забезпечити на мегометрі нормальну напругу, а після цього швидко прикласти вивід до наперед зачищеного місця струмопровідної частини вимірюваного об'єкту і тільки тоді починати відлік часу. Перше показання приладу фіксують через 15 сек. після початку вимірювання, друге – через 60 сек. За результат вимірювання приймають відношення

$$K_{abc} = R_{60} / R_{15}$$

Опір ізоляції R_{12} , а також коефіцієнт абсорбції K_{abc} залежить від температури. Тому порівнювати необхідно значення, які вимірювались при однаковій температурі. Вплив температур підкоряється закону

$$R_{t_2} = R_{t_1} \cdot 10^{\frac{t_2 - t_1}{a}},$$

де R_{t_1} , R_{t_2} - опори ізоляції відповідно при температурі t_1 , t_2 ; a - коефіцієнт, який залежить від типу ізоляції: для ізоляції класу А $-a=40$; для ізоляції класу В $-a=60$.

Опір ізоляції постійного струму і коефіцієнт абсорбції не можна вимірювати при температурі меншій від плюс 10 градусів за Цельсієм. Це пояснюється нестабільною поведінкою вологи при нижчих температурах і тим, що при температурі нижчій від нуля градусів за Цельсієм вода перетворюється у лід. У першому випадку результати вимірювання не можуть відображати дійсний стан ізоляції, а в другому – штучно підвищуються діелектричні властивості ізоляції.

Допускається визначити опір ізоляції обмоток статора з номінальною напругою 3 кВ і вище за струмами витоку, які вимірюються за допомогою кенотронного апарату при напрузі 2...2,5 кВ. Найменші допустимі значення опору ізоляції однієї фази електричних машин потужністю вище 5000 кВт, не менше 0,5 МОм.

Для машин потужністю вище 5000 кВт, а також для всіх машин з номінальною напругою більше 10,5 кВ найменше допустиме значення опору ізоляції однієї вітки обмотки статора R_{60° при температурі 75 градусів за Цельсієм необхідно визначити за формулою (ГОСТ 183-55), МОм:

$$R_{60^\circ} = \frac{U}{1000 + 0,01P},$$

де U - номінальна напруга машини, В; P - номінальна потужність машини, кВт.

Для інших температур опір ізоляції перераховують із врахуванням збільшення опору ізоляції у 2 рази при зниженні температури на 18 градусів за Цельсієм, користуючись такою залежністю:

Температури обмотки, плюс градусів за Цельсієм: 75 70 60 50 40 30 20 10

Коефіцієнт перерахунку: 1,0 1,2 1,8 2,6 3,9 5,5 8,5 12,0.

Опір ізоляції обмоток ротора електричних машин змінного струму напругою до 1000 В не нормується. Зазвичай двигуни напругою 380 В і потужністю до 1000 кВт вмикають без сушки, якщо опір ізоляції обмоток статора і ротора не нижче 0,5 МОм.

Опір ізоляції обмотки ротора електричних машин всіх груп і обмоток збуджувачів при температурі 10...30 плюс 10 градусів за Цельсієм повинен бути не менше 0,5 МОм для генераторів та синхронних компенсаторів і не менше 0,2 МОм для двигунів.

Найменші допустимі значення коефіцієнта абсорбції для електричних машин 1 групи при температурі плюс 10...30 градусів за Цельсієм рівні 1,2 і для машин 2 групи – 1,3.

Струми витоку можна вимірювати за допомогою кенотронного апарату для побудови характеристики $i_{\text{внт}}=f(U_{\text{вип}})$, якщо значення R_{60° або $K_{\text{абс}}$ відповідає приведеним нормам.

Характеристику $i_{\text{внт}}=f(U_{\text{вип}})$ будують не менше ніж для п'яти значень випробувальної напруги випрямленого струму від $U_{\text{мін}}$ до $U_{\text{мак}}$ рівними ступенями (попередньо перевіряють відсутність витоків у випробувальній установці збільшенням напруги без навантаження).

Величину $U_{\text{мак}}$ для машин 1 групи приймають рівною $2,5 U_{\text{ном}}$, а для машин 2 групи – у відповідності з таблицею, наведеною в [7].

Ступені, що рекомендуються при випробуванні, рівні $0,5 U_{\text{ном}}$. На кожному ступені вимірюють i_{15° і i_{60° . Якщо при незмінному значенні випробувальної напруги збільшується струм витоку, випробування необхідно припинити і знайти причину збільшення. Найбільші допустимі струми витоку при випробуванні ізоляції машин як 1-ї, так і 2-ї груп напругою випрямленого струму при температурі обмотки 10...30 плюс 10 градусів за Цельсієм такі:

Ступінь випробувальної напруги, долей	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Найбільші допустимі струми витоку, мкА	250	500	1000	2000	3000	3500

Якщо струми витоку досягнули вказаних значень, випробування необхідно зупинити і визначити коефіцієнт нелінійності.

Коефіцієнт нелінійності $K_{\text{нел.}}$ визначають за 60-секундними струмами витоку при випробувальній напрузі

$$K_{\text{нел.}} = \frac{i_{\text{вит.макс}} \cdot U_{\text{мін}}}{i_{\text{вит.мін}} \cdot U_{\text{макс}}},$$

причому мінімальна напруга $U_{\text{мін}}$ приймається рівною $0,5 U_{\text{ном}}$ для машин I-ї групи і не більше $0,2 U_{\text{макс}}$ для машин II-ї групи. Значення $K_{\text{нел.}}$ не повинно перевищувати 3 (за виключенням зазначених випадків).

Навіть якщо коефіцієнт нелінійності більший 3, але причину підвищення струму не вдалось знешкодити, машину необхідно поставити на контрольне прогрівання до температури плюс 75 градусів за Цельсієм. Якщо при $t=75^{\circ} \text{C}$.

$$R_{60^{\circ}} = \frac{U}{1000 + 0,01 \cdot P},$$

при $K_{\text{абс}} \geq 1,2$ I групи або $K_{\text{абс}} \geq 1,3$ для II-ї групи, то машина може бути ввімкнена без сушки після випробувань підвищеною напругою змінного струму промислової частоти.

Коли графік $i_{\text{вит}} = f(U_{\text{вип}})$ має крутий вигин (рис. 3.2), ввімкнення машини без сушки не допускається і при менших значеннях $K_{\text{нел.}}$.

В сухій ізоляції коефіцієнт нелінійності не перевищує 2...3. Для вологої ізоляції значення $K_{\text{нел.}}$ невелике, тому його необхідно зіставляти з абсолютним значенням опору ізоляції.

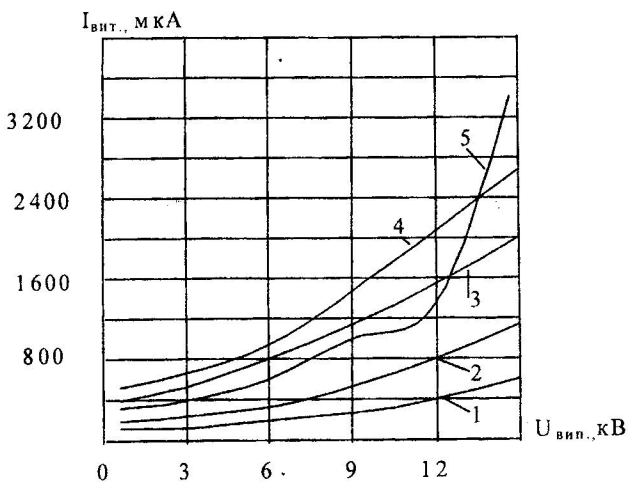


Рисунок 3.2 - Криві залежності струму витoku $I_{\text{вит.}}$ від випробувальної напруги $U_{\text{вип.}}$ для ізоляції електродвигунів 6 кВ: 1 - 4 - стан ізоляції задовільний; 5 - незадовільний

Випробування ізоляції електричних машин, трансформаторів та іншого електрообладнання підвищеною напругою виконують для виявлення дефектів ізоляції електрообладнання. Встановлений рівень випробувальних напруг відповідає пробивним напругам ізоляції при наявності в них зосереджених грубих дефектів. Випробування може бути проведено змінним або постійним струмом. При контролі головної ізоляції змінним струмом створюють умови роботи, які відповідають експлуатаційним. При цьому виникають втрати в діелектрику, напруги в ізоляції розподіляються пропорційно смностям її елементів. Випробувальне обладнання для контролю ізоляції потужних об'єктів громіздке через значний смісний струм, що вимагає відповідної потужності випробувальних трансформаторів. При постійному струмі випробувальне обладнання полегшене, умови випробування ізоляції спрощуються - відсутні втрати в ізоляції, напруга розподіляється пропорційно опорам. Щоб зробити випробування на постійному струмі ефективнішим, підвищують випробувальну напругу.

При випробуванні ізоляція розташована між двома електродами (рис.3.3), до одного із них - провідників - прикладають напругу від випробувального трансформатора, другий електрод - корпус - заземляють.

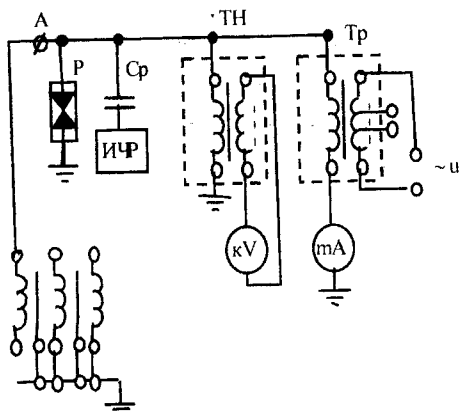


Рисунок 3. 3 - Принципова схема випробування ізоляції підвищеною напругою промислової частоти: Р - розрядник; ИЧР - індикатор часткових розрядів; Т - випробувальний трансформатор; ТН - трансформатор напруги

Трифазні обмотки необхідно випробувати по чергово, по фазно, для цього необхідно демонтувати з'єднання в нулі обмотки і заземлити їх усі, окрім тієї, яка випробується. При випробуванні вводів напругу прикладають між арматурою і прохідним стержнем, при випробуванні опорних ізоляторів - між двома арматурами.

Для тих об'єктів, в яких з'єднання між фазами виконано пайкою, допускається перевіряти тільки головну (корпусну) ізоляцію.

Прикладання випробувальної напруги повинно бути не тривалим, щоб уникнути пошкодження органічної ізоляції через іонізаційні процеси в ній. З іншого боку, воно повинно бути достатнім для розвитку часткового (неповного) розряду і навіть розряду до пробою. Практика показала, що для органічної ізоляції тривалість прикладання напруги 1 хвил., неорганічної - біля 5 хвил.

Перед проведенням випробування схема перевіряється, захисний розрядник регулюється так, щоб він спрацював при напрузі дещо вищій,

ніж випробувальна. Після перевірки схеми і розрядника приєднують об'єкт, що випробується, і напругу на ньому поступово підвищують. Швидкість підвищення напруги до значення, рівної 20 і 30 відсоткам від випробувальної, не обмежується. При підвищенні від 30 до 50 відсотків швидкість також може бути різною, але необхідно, щоб підвищення було плавним, без зупинок. При підвищенні від 50 до 100 відсотків швидкість повинна знаходитись в межах 1-2 відсотків випробувальної напруги за секунду. Напругу, що дорівнює 100% випробувальної, витримують 1 або 5 хвил., після чого плавно знижують і при досягненні 30 відсотків випробувальної напруги знімають поштовок. В період проведення випробування за об'єктом ведуть спостереження.

Вважають, що ізоляція витримала випробування, якщо за період прикладання підвищеної напруги не було розрядів, виявити які можна по характерних коливаннях стрілки вольтметра або на слух. Часткові розряди виявляють ІЧР.

Випробувальну напругу приймають у відповідності з «Нормами і об'ємами випробування електричного обладнання».

Потужність установки для випробування визначають за формулою:

$$S_{в.у.} = \omega \cdot C_{в.} \cdot U_{в.} \cdot 10^{-3},$$

де $\omega = 2\pi f = 314$; $C_{в.}$ - ємність об'єкту, пФ; $U_{в.}$ - випробувальна напруга, кВ.

Через велику потужність, масу і габарити використання випробувальних установок змінного струму обмежується напругою 35 кВ, але і при менших напругах об'єктів, які мають велику ємність, наприклад кабелів, їх використання проблематичне. В цих випадках доцільно застосовувати установки постійного струму. Джерелом постійного струму є випрямляюча установка (рис.3.4).

До потужності трансформатора будь-яких вимог не пред'являють. Ним може бути і вимірювальний трансформатор напруги.

Кратність випробувальної напруги приймають: для генераторів (2,2...,2,5) $U_{н.}$, для кабелів (5...6) $U_{н.}$ при напрузі 2...10 кВ і (4...6) $U_{н.}$ при напрузі (20...35) кВ ($U_{в.}$ - номінальна напруга електрообладнання, яке випробується) [4].

При випробуваннях обладнання випрямленою напругою вимірюють струми витoku (провідності) і виявляють їх залежність від прикладеної напруги.

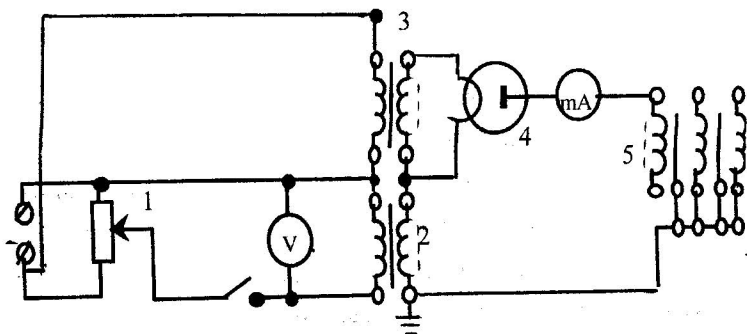


Рисунок 3.4 - Схема виміральної установки на випрямленій напрузі: 1 – потенціометр; 2 - випробувальний трансформатор; 3 - трансформатор розжарення; 4 - електронна лампа - випрямляч; 5 - фаза обмотки, що випробується

В деяких випадках (наприклад, для кабелів, іскрових проміжків вентильних розрядників) струми витoku нормують, в інших результати випробувань співставляють з попередніми. Для електродвигунів знімають залежність струмів витoku через ізоляцію від прикладеної напруги у визначеному діапазоні, і результати випробувань оцінюють за виглядом цієї кривої, яка не повинна мати крутого перегину (рис.2).

Для вимірювання характеристик ізоляції трансформаторів повинні бути отримані результати випробувань проб масла, які відповідають нормам.

Опір ізоляції обмоток силового трансформатора вимірюють мегометром напругою 2500 В при температурі верхніх шарів масла не нижче плюс 10 градусів за Цельсієм, попередньо заземливши їх на 2-5 хвил.

Схеми вимірювань опору ізоляції для двообмоточних трансформаторів:

ВН-НН+корпус+земля;

НН-ВН+корпус+земля;

ВН-НН.

В позначеннях схеми зліва вказана обмотка, на яку подається напруга від мегометра: ВН – обмотка високої напруги; НН – обмотка нищої

напруги. Одночасно з вимірюванням опору ізоляції визначають коефіцієнт абсорбції ($K_{абс}=1,2$).

Тангенс кута діелектричних втрат і ємність обмоток вимірюють, як правило, за допомогою моста МД-16 або Р-595 при напрузі 6...10 кВ. Ступінь вологості ізоляції обмоток оцінюють за допомогою приладу ПКВ-7, ПКВ-8 (прилад контролю вологості). Схеми приладів, хід вимірювань, допустимі норми показників якості ізоляції представлені в [6, 7].

Ізоляцію трансформаторів підвищеною напругою змінного струму випробовують разом з вводами. Випробувальна напруга залежить від класу ізоляції обмотки. Час випробування складає 1 хвил. В експлуатації для обмоток напругою 35 кВ і нижче випробовування напругою змінного струму може бути замінене випробовуванням випрямленою напругою з вимірюванням струмів витoku. Випрямлена випробувальна напруга приймається рівною амплітудному значенню випробувальної напруги промислової частоти. Для випробування ізоляції трансформаторів підвищеною напругою використовують ті ж пристрої, що й для двигунів.

Розглянуті нами вище способи і технічні засоби призначені для періодичного контролю ізоляції електрообладнання при виконанні плану ППР (планово-попереджувального ремонту), а також при аварійному виході з ладу після виготовлення і ремонту.

ПЕРЕЛІК ПРИЛАДІВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ, МАТЕРІАЛІВ І ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ПРИ ВИКОНАННІ РОБОТИ

Електрообладнання (об'єкти для вимірювання): електродвигун асинхронний, тип АИР 56А 4У3 автоматичний вимикач АП-50, встановлений на лабораторному стенді (ауд.117 або 119), високовольтний вимикач ВМП-10 (ауд.128), світильник, встановлений на лабораторному стенді; силові трансформатори, встановлені в "дворіку" енергетичного корпусу; високовольтні коміртки (ауд.128), низьковольтні коміртки (ауд. 131), зварювальні трансформатори (ауд. 131),

Інструменти: викрутки, рожкові і гаєчні ключі.

Прилади: мегометри

ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

У асинхронних електродвигунів вибірково розібрати з'єднання "у зірку". Перевірити справність мегометрів. В залежності від очікуваного опору ізоляції вибрати шкалу його вимірювання і напругу генератора на його затискачах, встановивши у відповідне положення перемикачі, що знаходяться на фасаді панелі мегометра. Далі проводиться вимірювання опору ізоляції і коефіцієнта абсорбції обмоток електродвигунів за методикою, викладеною вище. За цією ж методикою вимірюється опір ізоляції силових трансформаторів, автоматичних вимикачів, пускачів, світильників і розподільних пристроїв напругою до 1000 В, а також високовольтних вимикачів і розподільних пристроїв напругою вище 1000В. Для силових трансформаторів вимірюється також і коефіцієнт абсорбції. Дані вимірювання подаються у звіті по даній лабораторній роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. З якою метою в умовах експлуатації здійснюється контроль за станом ізоляції?
2. Критерії оцінки стану ізоляції електрообладнання.
3. Які фактори впливають на стан ізоляції в процесі експлуатації електрообладнання?
4. Порядок вимірювання ізоляції електрообладнання мегометром.
5. Порядок вимірювання коефіцієнта абсорбції.
6. Порядок випробування ізоляції підвищеною напругою змінного струму.
7. Порядок випробування ізоляції підвищеною напругою постійного струму.
8. Визначення коефіцієнта нелінійності.
9. Як визначається стан ізоляції потужних електричних машин за допомогою залежності $I_{\text{вит}} = f(U_{\text{вип}})$.
10. Які вимоги ставляться до методики випробування?

11. За яких умов можна порівнювати результати вимірювань опору ізоляції, проведених в різний час року?

12. Як відображається вплив температури на результати вимірювання?

Тема 3.2: Ознайомлення з реле захисту від однофазних замикань на землю в трифазних мережах напругою до 1000В з ізолюваною нейтраллю

Мета роботи: Ознайомитися з реле контролю однофазних замикань на землю.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. Вивчити способи побудови реле захисту від однофазних замикань на землю.
2. Ознайомитись з основними типами реле.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В електричних мережах підприємств гірничодобувних галузей використовується режим ізолюваної нейтралі. В таких мережах застосовуються способи і технічні засоби безперервного контролю ізоляції електрообладнання. Такі пристрої називаються захистом від однофазного замикання на землю, який діє на вимкнення автоматичних вимикачів або магнітних пускачів.

В даний час розроблено багато різних схем електричного захисту від однофазного замикання на землю в мережах напругою до 1000В. Схеми захисту можна класифікувати за параметром реагування: напруга нульової послідовності, загальний опір ізоляції мережі і комбіновані.

Основним елементом в схемах захисту, що реагують на напругу нульової послідовності, є фільтр напруги нульової послідовності, який може бути виконаний із активних (рис.3.5,а), індуктивних (рис. 3.5,б) або ємнісних опорів (рис. 3.5,в), а також із неонових ламп (рис.3.5,г) і ламп розжарювання. Котушка реле Р включається між штучною нульовою точкою і землею.

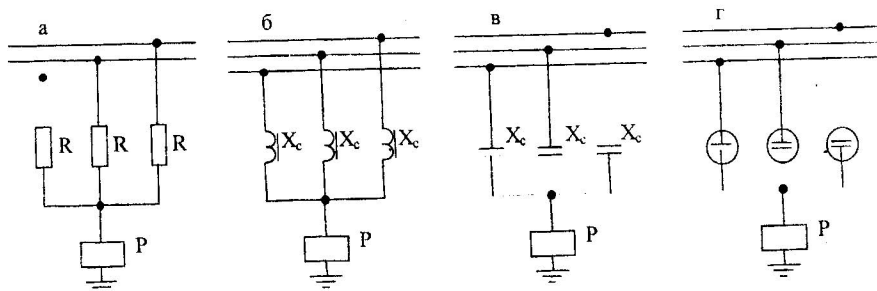


Рисунок 3.5 - Схеми фільтрів напруги нульової послідовності: а - із активних опорів; б - із індуктивних опорів; в - із ємнісних опорів; г - із неонових ламп

Найбільш спрощеним пристроєм захисту від однофазного замикання на землю в мережах 380 є асиметри типу РА-74/2. Фільтр нульової послідовності в асиметрі виконаний із трьох конденсаторів ємністю 0,25 мкФ кожний. Електромагнітне реле асиметра (рис. 3.6) включено між нульовою точкою (зіркою конденсаторів) і землею. Нормально закриті контакти реле асиметра включаються в коло нульової котушки автомата або в коло котушки контактора магнітного пускача.

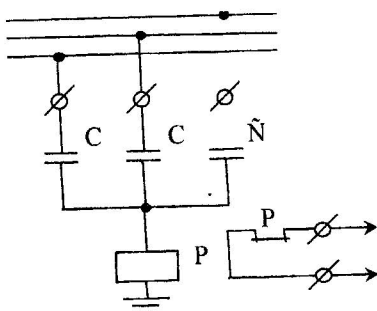


Рисунок 3.6 - Принципова схема асиметра РА-74/2

При глухому замиканні на землю, тобто при пробі ізоляції однієї із фаз на корпус установки, яка захищається, порушується симетрія фазних напруг, в результаті чого через котушку реле асиметра проходить струм.

Нормально замкнені контакти реле розірвуть коло котушки магнітного пускача.

Як реле захисту від однофазного замикання на землю асиметр РА-74/2 має ряд суттєвих недоліків. Як відомо, величина напруги нульової послідовності залежить від відношення опору ізоляції неушкоджених фаз до опору ізоляції ушкодженої фази, а небезпека враження електричним струмом залежить від абсолютного значення цих опорів. Реле асиметра спрацьовує тільки при повному (металевому) однофазному замиканню на землю, тобто може забезпечити обмежену безпеку. Асиметр не забезпечує захисту від враження електричним струмом при дотику людини до струмопровідних частин установки, яка знаходиться під напругою. При металевому замиканні в мережі на землю асиметр спрацьовує лише в тому випадку, коли зниження опору ізоляції до нуля відбувається порівняно швидко. При повільному зниженні опору ізоляції до нуля асиметр може не спрацювати.

Апарати захисту від однофазних замикань на землю, які реагують на загальний опір ізоляції мережі, основані на принципі вимірювання активного опору ізоляції всіх трьох фаз мережі відносно землі за допомогою постійного струму. До таких апаратів відносяться реле витoku РУ, РУВ, РУН, УАКИ та інші.

На вугільних розрізах є в експлуатації реле витoku РУ-127/220 і РУВ-2. Реле РУ-127/220 є в електромонтажних майстернях, на його основі змонтований лабораторний стенд. Спрощена принципова електрична схема реле витoku наведена на рис.3.7.

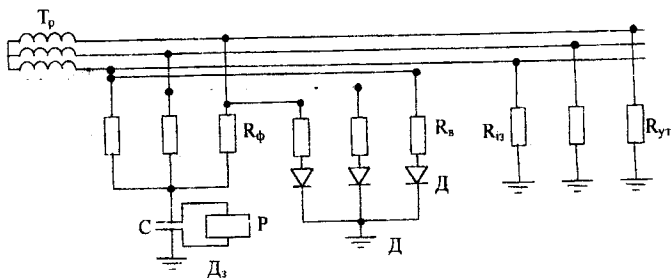


Рисунок 3.7 - Спрощена електрична принципова схема реле витoku

Принцип контролю опору ізоляції полягає в тому, що джерело оперативного струму (випрямляч Д) через струмообмежувальні резистори ввімкнений між трьома фазами мережі і землею паралельно опорів ізоляції мережі R_{i3} і вимірювальному реле Р, яке приєднано між нульовою точкою зірки резисторів і додатковим заземленням D_1 . При такому включенні величина оперативного струму тим вища, чим більший опір ізоляції. При високому опорі ізоляції реле Р притягує і утримує свій якор. При зниженні опорів ізоляції мережі, збільшується частина оперативного струму, яка відгалужується по колу витоку, а струм в колі реле Р зменшується. При опорі ізоляції, що дорівнює опорі спрацювання реле витоку, струм в реле Р досягає величини струму повернення реле і останнє відпускає свій якор. Реле Р своїми контактами діє на коло управління магнітного пускача і викликає відключення мережі.

Принцип самоконтролю справності елементів схеми реле витоку полягає в тому, що воно реагує не на збільшення, а на зменшення струму в реле Р. Тому пошкодження схеми реле витоку, що призводить до зменшення або повного зникнення струму в реле Р, викликають, відповідно, або підвищення опорів спрацювання, або спрацювання реле витоку і відключення мережі.

Принципова схема реле витоку представлена на рис. 3.8.

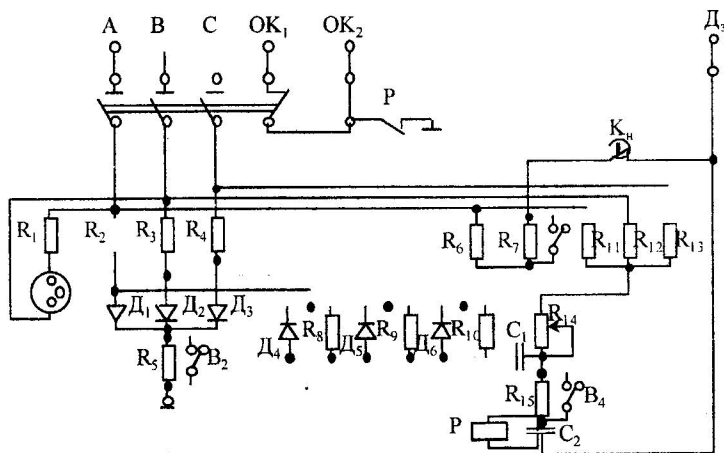


Рисунок 3.8 - Принципова електрична схема реле витоку

Дана схема відрізняється від спрощеної наявністю додаткового джерела постійного струму, завдяки якому в момент подачі напруги живлення на реле витоку через його виконавче реле протікає випрямлений струм, що створюється двома джерелами постійного струму по колу:

позитивний полюс джерела оперативного струму Д1, Д2, Д3 - резистор R_5 - затискач \perp - додаткове заземлення Д3 - обмотка виконавчого реле Р - резистор R_{15} - конденсатор С1 - від'ємний полюс додаткового джерела постійного струму Д4, Д5, Д6. При цьому реле Р вмикається і розмикає свій контакт в колі управління пускачем.

Проходження струму у вказанному колі короткочасне і визначається часом заряду конденсатора С1. Однак, виконавче реле залишається у ввімкненому стані, тому, що через нього буде проходити оперативний струм утримання по колу:

- обмежувальні резистори R_2, \dots, R_4 , діоди Д1, Д2, Д3 - резистор R_5 - затискач \perp - додаткове заземлення Д3 - обмотка реле Р - резистори R_{14}, \dots, R_{15} - резистори R_{14}, \dots, R_{15} .

При зниженні опору ізоляції мережі (нище опору спрацювання) реле витоку Р відпускає свій якір і замикає контакт, діючи на коло управління магнітного пускача.

Для перевірки справності реле витоку необхідно натиснути кнопку $K_{\text{н}}$, чим створюється однофазний виток через резистор R_6 при напрузі мережі 127 В або резистори R_6 і R_7 при напрузі 220 В. Перемички В2, В3, В4 служать для шунтування резисторів R_5 , R_7 і R_{15} при включенні реле витоку в мережу напругою 127 В.

Недоліки реле витоку РУ-127/220 і РУВ-2: велика вага; вплив відхилень напруги мережі, що контролюється, на роботу захисту; нездатність відрізнити повільні симетричні зміни стану ізоляції від швидких несиметричних; великий опір кола захисту; відносно великий час (0,1 сек.) спрацювання захисту; негативний вплив ємності мережі на характеристику захисту, який реагує на напругу нульової послідовності.

Найкращими схемами, які відповідають вимогам шахтних і кар'єрних мереж напругою 380 В від струмів витоку, є реле контролю

заземлення РКЗ-Н51(рис.3.9) і пристрій автоматичного контролю ізоляції УАКИ-380

Реле РКЗ-Н51 дозволяє експлуатувати кар`єрні мережі із зниженим симетричним опором ізоляції і виявляти порушення ізоляції на окремих дільницях мережі.

Схема реле РКЗ-Н51 (рис. 3.9) складається з двох частин випрямляючого моста, ввімкненого через обмежувальні опори R_3, R_5, R_7 і фільтра нульової послідовності, зібраного із опорів $R_3, R_5, R_7, R_4, R_6, R_8$, з`єднаних в зірку. В вигляді елементів випрямляючого моста застосовані германієві діоди Д-7Ж. Обидві частини схеми підключені до електромагнітного реле Р типу МКУ-48($U=486, R= 4,4 \text{ Ом}, I_{\text{спр}}=8,5 \text{ МА}$). Тому струм в котушці реле дорівнює сумі струмів, які проходять через 3-и фазний випрямляючий міст і через фільтр нульової послідовності з вентилем В4:

$$I_p = I_{\text{м.сер}} + I_{\text{ф.сер}}$$

де $I_{\text{м.сер}}$ - середнє значення струму, що проходить через міст; $I_{\text{ф.сер}}$ - середнє значення струму, що проходить через фільтр.

Випрямляч В4 може мати два основних режими – при синусоїдальній напрузі і синусоїдальному струмові на вході випрямляча. Практично в схемі РКЗ-Н51 випрямляч працює в змішаному режимі. Максимальна зворотна напруга на випрямлячі дорівнює амплітуді напруги нульової послідовності, тобто $U_{\text{зв}} = \sqrt{2}U_{\text{ф}}$.

Випрямляч В4 запобігає можливості вібрації якоря реле і підвищує чутливість захисту до несиметричного зниження опору ізоляції мережі.

Послідовне з`єднання вентилів В1, В2, В3 із струмообмежувальними опорами R_3, R_5, R_7 дозволяє запобігти можливості виникнення короткого міжфазного замикання при пробі одного із вентилів і дає можливість знизити величину зворотної напруги, прикладеної до вентилів.

Перша частина схеми - трифазний випрямляючий міст - реагує на загальний опір ізоляції мережі: фільтр нульової послідовності реагує на несиметричні зниження ізоляції, що суттєво покращує захисні характеристики реле витоку. Чутливість захисту на несиметричні

зниження опору ізоляції в мережі вища, ніж симетричні. Це дозволяє експлуатувати мережі зі зниженим симетричним опором ізоляції і знаходити зосереджені витоки, які створюють головну небезпеку враження електричним струмом.

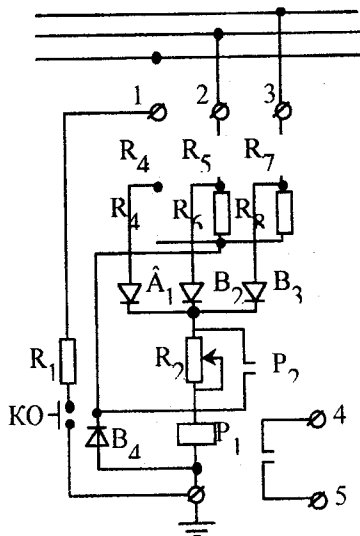


Рисунок 3. 9 - Принципова електрична схема реле контролю заземлення РКЗ-Н51

Реле Р спрацьовує від сумарного струму, який надходить в котушку реле із обох частин схеми, при зниженні загального опору ізоляції мережі нижче критичного значення (для мереж напругою 380 В критична величина опору витоку дорівнює 1350 Ом).

Струм в реле при симетричному опорі ізоляції фаз залежить від ємності фаз мережі відносно землі, оскільки через реле проходить постійний струм, для якого ємність представляє нескінченно великий опір.

Величина зміщення нейтралі (при пробі ізоляції або дотику людини до голої фази) залежить від величини ємності і, таким чином, величина струму нульової послідовності, випрямленого вентилям В4, буде залежати від величини прикладеної напруги нульової послідовності.

При спрацюванні реле нормально розімкненим контактом P1 включає коло відмикаючої котушки автомата, другим нормально відкритим контактом P2 реле самоблокується, що попереджує можливість підгорання його контактів при перемижжючих замиканнях на землю.

Змінний опір R_2 типу ППЗ-11 призначений для регулювання чутливості захисту по рівню загального опору ізоляції мережі. Час спрацювання реле при появі однофазного витоку не перевищує 30 сек.

Перевірка справності реле здійснюється натискуванням на кнопку КО, при цьому створюється виток однієї фази на землю через опір $R_1 = 1$ кОм.

В даний час для захисту трифазних мереж напругою 380 В і 660 В, замість реле витоку РУВ-2 для вугільних шахт випускаються реле витоку типу "УАКИ" (пристрій автоматичного контролю ізоляції) (рис.10). Реле "УАКИ" встановлюється в металевій шафі трансформаторної підстанції разом з фідерним автоматом. При зниженні ізоляції до небезпечної величини (7 кОм при однофазному витоку) реле "УАКИ" відключає фідерний автомат мережі з пошкодженою ізоляцією або при дотику людини до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою.

Реле витоку "УАКИ" призначене для запобігання наступних небезпек:

а) враження електричним струмом людини, яка торкнулась до струмопровідної частини електроустановки, що знаходиться під напругою, або до корпусу установки, що має пошкоджену ізоляцію струмопровідних частин і несправне захисне заземлення;

б) передчасного спрацювання електродетонаторів струмами витоку мережі, що захищається;

в) нагрівання і наскрізного пропалення вибухонебезпечних оболонок електричною дугою, що виникає між провідником і оболонкою.

Реле витоку "УАКИ" знижує також вірогідність вибуху газу або пилу через струми витоку.

На відміну від РУВ-2 реле витоку "УАКИ" покращує стан ізоляції мережі, тобто, попереджує подальший розвиток пошкодження електрообладнання і кабелів з вошкою ізоляцією.

Час спрацювання реле витоку "УАКИ" не перевищує 20 мсек.

В схемі "УАКИ-380" (рис. 10) використовується реле Р постійного струму типу РКН, яке має дві обмотки (WІ=11600, WІІ=8000 витків). Обмотки з'єднані так, що їх магнітні потоки направлені зустрічно. Поки ізоляція мережі справна, обмотки WІ і WІІ обтікаються допоміжним струмом, і їх сумарний магнітний потік близький до нуля.

В міру зниження опору ізоляції струм витоку збільшується і викликає підвищення величини оперативного струму, який проходить через обмотку WІІ. Значення допоміжного струму, який проходить через вентиль В4, буде зменшуватись.

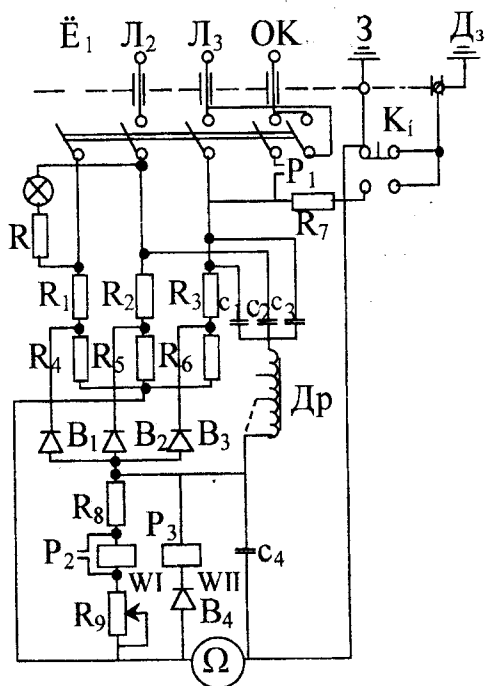


Рисунок 3.10 - Схема реле витоку "УАКИ" - 380

Якщо відбудеться подальше погіршення ізоляції мережі, оперативний струм ще більше зросте, і коли його величина стане більшою величини допоміжного струму, вентиль В4 закриється і цей струм пройде тільки по обмотці ВІІ реле Р.

Дотик людини до голої струмопровідної частини електроустановки, яка знаходиться під напругою, або винекнення в мережі небезпечного витоку на землю викликає збільшення різниці магнітних потоків обмоток ВІІ і ВІ і спрацювання реле Р. При спрацюванні реле замикає нормально відкритий контакт Р1.

В колі котушки відключення автомата останній вимкне мережу з пошкодженою ізоляцією.

Особливістю реле "УАКИ" є те, що його струми, які контролюють стан ізоляції фаз мережі, стікають з струмопровідних жил через землю і "УАКИ". Ці струми викликають явище електроосмоса, під дією якого із зволоженої ізоляції видаляється волога, що призводить до збільшення опору ізоляції мережі, яка контролюється. Таким чином, після підключення "УАКИ" активний опір ізоляції мережі, що контролюється, із зволоженою ізоляцією збільшується і в подальшому підтримується на такому рівні. Це дозволяє застосовувати реле витоку "УАКИ" на ділянках з великою обводненістю.

В схемі реле витоку "УАКИ-380" є трифазний випрямляючий міст, який складається із вентилів В1, В2, В3 типу Д226Б. Ці вентиля підключені до мережі 380 В через опори $R_1=R_2=R_3=15$ кОм типу ПЕВ-20. Фільтр нульової послідовності складається із опорів R_1, R_2, R_3 і $R_4=R_5=R_6=100$ кОм типу МЛТ-2.

Для компенсації ємнісних струмів витоку в схемі застосовується компенсатор ємності, який складається із 3-х конденсаторів $C_2=C_3=C_4=1$ мкФ типу МБГП-1, з'єднаних в зірку і включених на фазні напруги мережі.

Між нейтраллю цих конденсаторів і зіркою вентилів включений компенсуючий дросель Др.

Компенсатор ємності дозволяє значно зменшити тривалі струми і особливо короточасні струми, які проходять через людину, яка торкнулась до частин, що знаходяться під напругою.

Дросель Др має відпайки 0,25 і 0,5 мкФ. Якщо сумарна довжина всіх кабелів мережі, що контролюється, менша або рівна 2500 м, а довжина фідерного кабеля не перевищує 250 м, то дросель необхідно приєднати на відпайку 0,25 мкФ/фазу.

Якщо ж сумарна довжина всіх кабелів перевищує 2500 м, то необхідно приєднати відпайку 0,5 мкФ/фазу.

В схемі "УАКИ", як і в РУВ-2 є омметр Ω за показами якого можна наближено визначити загальний опір ізоляції мережі. Для перевірки справності реле є кнопка Кн, при натискуванні на яку створюється однофазний виток. Справне реле виток при цьому повинно чітко спрацювати.

ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перевіряється справність реле витоку РУ-127/220 в такій послідовності:

- пакетні перемикачі магазину резисторів, які моделюють опір витоку мережі напругою до 1000 В відносно землі, встановлюють в положення "виключено" (пакетні перемикачі встановлені на лабораторному стенді РУ-127/220).

- подають напругу на лабораторний стенд і реле РУ-127/220 за допомогою живлячого кабеля із сусіднього лабораторного стенду - кнопкою "пуск" включається магнітний пускач, який вмикає мережу (мережа моделюється магазином резисторів);

- за допомогою перемикачів вмикаються резистори, які моделюють опір витоку мереж величиною 12,0 кОм;

- якщо реле Р не спрацювало (рис 3.8) і магнітний пускач (МП) не вимкнув мережу, то опір зменшується до 10 кОм- при неспрацюванні реле Р і на цей раз - опір зменшується до 5 кОм;

- при спрацюванні реле Р магнітний пускач відключається і знімає напругу з мережі. Реле витоку вважається справним, а величина опору витоку мережі відносно землі 5 кОм вважається уставкою для реле витоку;
- при необхідності уставка опору спрацювання реле Р регулюється резистором R_{14} (рис 3.8).
- величина опору витоку, при якому спрацює реле, відображається у звіті по даній лабораторній роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Мережі напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю та з ізольованою нейтраллю.
2. Вимоги до контролю ізоляції в електричних мережах гірничодобувних підприємств.
3. Які застосовуються способи безперервного автоматичного контролю ізоляції?
4. Які функції виконують асиметрове реле РА-74/2, реле РУ, РУВ, УАКИ?
5. За яких умов мережі до 1000 В з ізольованою нейтраллю більш безпечні за мережі з глухозаземленою нейтраллю трансформатора?

ЛІТЕРАТУРА

1. Князевский Б.А., Трунковский Л.Е. Монтаж и эксплуатация промышленных электроустановок. -М.:Высшая школа., 1975.
2. Электрические измерения /Под ред. Е.Г.Шрамкова.-М.:Высшая школа, 1972.
3. Забокрицкий Е.И. и др. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики.-Киев: Наук.думка,1985.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.- Днепропетровск; Промінь, 1971.
5. Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций /Под ред. Мусаэяна Э.С.- М.: Энергия, 1971.

6. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий.- М.:Энергия, 1984.

7. Грудинский П.Г., Мандрыкин С.А., Улицкий М.С. Техническая эксплуатация основного электрооборудования станций и подстанций. М: Энергия, 1974.

8. Реле утечки РУ-127/220. Паспорт. Днепропетровский завод шахтной автоматики; 1986.

9. Маврицин А.М., Бухтояров В.Ф. Защита от однофазного замыкания на землю в карьерах.-М.: Недра, 1968.

Навчальне видання

Броніслав Станіславович Рогальський, Віталій Іванович Кузьмінов,
Михайло Йосипович Бурбело

**ЕЛЕКТРОМОНТАЖНІ РОБОТИ. ВИМІРЮВАННЯ ТА
ВИПРОБОВУВАННЯ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ**

Навчальний посібник з дисципліни “Робоча професія”

Оригінал-макет підготовлено авторами

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор Ю.І. Франко

Підписано до друку *16.10.2001*

Формат 29.7*42^{1/4} Гарнітура Times New Roman

Друк різнографічний Ум. друк. арк. *477*

Тираж ~~100~~ прим.

Зам.№ *2001-211*

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ, ГНК, 9-й поверх
тел. (0432)44-01-59