НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра геобудівництва та гірничих технологій

Лабораторна робота №4

«ДОСЛІДЖЕННЯ режимів нейтралі електричних мереж»

Виконали студенти

Групи ОБ-11:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Перевірив

Зайченко С.В.

Київ – 2015

***Мета роботи*** - дослідити особливості режимів нейтралі електричних мереж з глухозаземленою, ізольованою і з компенсованою централями та вплив режиму нейтралі на електробезпечність, економічність і надійність систем електропостачання.

**4.1. Прилади і устаткування**

Лабораторний стенд з фізичною моделлю трифазної мережі.

**4.2. Короткі теоретичні відомості**

**Електричною мережею** називається сукупність підстанцій, розподільчих пристроїв (РП), повітряних (ПЛ) та кабельних (КЛ) ліній, призначених для передачі та розподілу електричної енергії.

**Нейтраль мережі** – це сукупність з'єднаних між собою нейтральних провідників та нейтральних точок джерел (генераторів, трансформаторів) та споживачів електричної енергії. Згідно з Правилами устрою електроустановок (ПУЕ) нейтралі можуть бути заземлені, ізольовані або з'єднані із заземлюючим пристроєм через котушку індуктивності з великим реактансом (рис. 4.1 - 4.3).

Якщо нейтраль трансформатора з'єднана із заземлюючим пристроєм безпосередньо або через резистор з малим опором (трансформатор струму), то така нейтраль називається глухозаземленою, а мережі, які з'єднані з даною обмоткою трансформатора – мережами з глухозаземленою нейтраллю.

Якщо нейтраль не з'єднана із заземлюючим пристроєм, або з'єднана з ним через резистор з великим опором (трансформатор напруги), то така нейтраль називаєтьсяізольованою, а мережі, які працюють в цьому режимі – мережами з ізольованою нейтраллю.

Мережі, нейтраль яких заземлена через настроєну в резонанс із ємністю мережі індуктивність (дугогасильний, реактор) з метою компенсації її ємнісного струму мережі, називається мережами з компенсованою нейтраллю.

Вибір режиму нейтралі визначається безпекою експлуатації електричної мережі (головним чином у мережах напругою до 1 кВ), надійністю, безперервністю та економічністю електропостачання. При цьому визначальним фактором є однофазні замикання на землю, кількість яких у СЕП досягає 75...85%. Під час однофазного замикання трифазної системи на землю порушується симетрія системи, в результаті чого змінюються рівні напруг фаз відносно землі, виникають струми замикання на землю та перенапруги в мережах. Міра впливу порушення симетрії системи на режим роботи споживачів електроенергії залежить від режиму нейтралі.

**Системи з ізольованою нейтраллю.** В системі з ізольованою нейтраллю замикання однієї фази на землю не є КЗ і не впливає на роботу споживачів електроенергії. Струм однофазного замикання на землю визначається загальною провідністю ізоляції фаз електричної мережі відносно землі, яка зумовлена ємністю та активним опором ізоляції. Розподілені вздовж ліній ці параметри прийнято розглядати як зосереджені (рис. 4.1, а). Для симетричної системи вони практично рівні між собою, тобто С1=С2=С3=С; r1=r2=r3=r. Активна складова провідності фаз зумовлює струм витоку, а ємнісна – ємнісний струм. У мережах напругою понад 1 кВ активна провідність значно менша за ємнісну і нею можна знехтувати. Тоді, якщо в нормальному режимі напруги фаз відносно землі симетричні й дорівнюють напрузі фаз, геометрична сума ємнісних струмів трифазної системи, дорівнюватиме нулю, тобто:

; (4.1)

, (4.2)

де *y1*, *y2*, *y3* – провідності фаз А, В, С;

*UA*, *UB*, *UC* – напруги фаз;

*UN* – напруга нейтралі відносно землі;

Відповідно до рівнянь (4.1 – 4.2).

 (4.3)

Оскільки вектори напруг фаз утворюють симетричну зірку, а їх сума дорівнює нулю, то в нормальному режимі *UN=0*.

У разі металевого замикання фази на землю, наприклад фази А, її напруга відносно землі зменшиться до нуля, а двох інших фаз зросте в  разів, тобто до міжфазної () (рис. 3.1, б). Пропорційно напругам зростуть ємнісні струми на землю непошкоджених фаз, а саме:

 (4.4)

Ємнісний струм замикання фази А на землю:

 (4.5)

де *|Z0|>>Z1= Z2* – опори нульової прямої та оберненої послідовності, які відповідно дорівнюють:

*Z0 = l/ωC* (4.6)

*Z1 = r1 +jx1* (4.7)

*Z2 = r2 +jx2* (4.8)

Під час однофазного замикання на землю міжфазні напруги не змінюються за значенням, кут між ними залишається таким, що дорівнює 120° (рис. 4.1, в), отже не порушується режим роботи споживачів електроенергії та їх електропостачання в цілому. Згідно з ПУЕ система може працювати в такому режимі до виявлення пошкодження, але не більше як 2 год. Тривала робота системи в режимі однофазного замикання недопустима, оскільки цей режим може перерости в багатофазне КЗ на землю.

У випадку неметалевого замикання на землю в місці замикання виникає нестійка дуга, яка супроводжується повторними запалюваннями та згасаннями. В коливальному контурі, створеному ємністю та індуктивністю мережі, виникають вільні електричні високочастотні коливання, які спричинюють виникнення небезпечних перенапруг. Значення перенапруг досягають 2,2Uф на пошкодженій, та 3,2Uф на непошкоджених фазах, що може спричинити пробивання ізоляції та, як наслідок, багатофазне КЗ.

*U*

*C*

*U*

*B*

*U*

*A*

*C*

*B*

*A*

*I*

*C*

*I*

*B*

*r*

*r*

*r*

*C*

*C*

*C*

*1*

*2*

*3*

*1*

*2*

*3*

*I*

*B*

*I*

*C*

*I*

*A*

*I*

*A*

*T*

*0*

*U*

*C*

*U*

*B*

*U*

*A*

*C*

*B*

*A*

*I*

*C'B*

*r*

*r*

*r*

*C*

*C*

*C*

*1*

*2*

*3*

*1*

*2*

*3*

*I*

*C'B*

*I*

*C'C*

*N*

*I*

*C'C*

*I*

*з*

*90°*

*U*

*B*

*U*

*A*

*I*

*з*

*U'*

*B*

*U'*

*C*

*-I*

*з*

*0*

*60°*

*U*

*C*

*U*

*B0*

*а*

*)*

*б*

*)*

*в*

*)*

Рис. 41. Електрична мережа з ізольованою нейтраллю.

Істотним недоліком мереж з ізольованою нейтраллю є те, що ізоляція фаз повинна бути розрахована на міжфазну. напругу. Цей факт стає вирішальним у виборі ізоляції ліній електропередач напругою понад 35 кВ. З економічної точки зору, до переваг цього режиму нейтралі належить можливість реалізації релейного захисту в двофазному виконанні. В мережах з малою ємністю (U<1 кВ), крім того, з'являється можливість реалізації контролю струмів витоку та контролю стану опору ізоляції фаз. Це має особливо важливе значення для гірничих та інших підприємств із вибухонебезпечними умовами експлуатації електроустановок.

Згідно з ПУЕ мережі напругою 6...35 кВ працюють з ізольованою нейтраллю. Ці мережі належать до мереж з малими струмом однофазного замикання на землю (*<<500 А*). Досвідом експлуатації СЕП визначені критичні значення ємнісних струмів замикання на землю за умовою згасання дуги. Ці струми залежно від рівня напруги дорівнюють: 30 А (6 кВ); 20 А (10 кВ); 15 А (20 кВ); 10 А (35 кВ). Розподільчі мережі промислових підприємств напругою 6...35 кВ характеризуються відносно великою загальною довжиною кабельних та повітряних ліній і, відповідно, можуть мати великі значення ємнісних струмів замикання на землю. Ці струми залежать від рівня напруги мережі (UМ, кВ), довжини кабельних (Lкл, км) та повітряних ліній (Lпл, км) і визначаються за питомою (Сп) ємністю фаз (мкф/км), або за наближеними формулами, А:

 (4.9)

Отже, якщо загальна довжина ліній перевищує 100 км. то згідно з (4.9) ємнісні струми замикання на землю, перевищуватимуть критичні значення. У цьому випадку складні мережі поділяють на менші дільниці за допомогою трансформаторних розв'язок, зменшуючи загальну довжину ліній та їх ємність. У практиці електропостачання вугільних шахт цей захід одержав назву відокремленого живлення. На промислових підприємствах використання такого заходу економічно недоцільне. Тому, якщо ємнісні струми перевищують критичні значення, нейтралі, джерела живлення (трансформатора) з'єднують із землею через так звану дугогасячу котушку (реактор). Індуктивний опір реактора великий, і мережа працює як з ізольованою нейтраллю.

Для компенсації ємнісного струму мережі (IС) реактор повинен бути настроєний у резонанс з її ємністю. В цьому разі Iс компенсується протилежним за знаком індуктивним струмом ІР реактора. Оскільки ємність мережі змінюється в часі відповідно з увімкненою загальною її довжиною, то індуктивність реактора повинна автоматично регулюватися. Якщо технічно неможливо забезпечити резонанс, перевагу віддають недокомпенсації, а не перекомпенсації, тому що в аварійних режимах остання провокує значні рівні перенапруг у мережі.

**Системи с глухозаземленою та ефективнозаземленою нейтралями**. Системи з глухозаземленими нейтралями відносять до систем з великими струмом короткого замикання на землю (Із>500 А).

Електричні мережі промислових підприємств та поверхні вугільних шахт напругою до 380 В включно згідно з ПУЕ за умовами безпеки і надійності виконуються з глухозаземленою нейтраллю (рис. 4.2). Це пояснюється тим, що в разі замикання однієї фази на землю напруги непошкоджених фаз відносно землі не перевищують фазну напругу; замикання однієї фази на землю є коротким замиканням, яке збуджує релейний захист та своєчасне вимикання пошкодження; ємність і опір ізоляції фаз практично не впливають на струм ураження людини у випадку дотику до фази; можливість виконувати мережі чотирипровідними (3 фази – нуль), щоб одночасно забезпечити живлення як трифазних, так і однофазних споживачів електроенергії.

3_2

Рис. 4.2. Чотирипровідна мережа з глухозаземленою нейтраллю.

Електричні мережі напругою 110 кВ і вище виконують також із глухозаземленою нейтраллю, але трипровідними (рис. 4.3). Оскільки рівні напруг високі та надвисокі, то головним критерієм вибору цього режиму нейтралі є економічні міркування. Серед них головне те, що напруга фаз відносно землі в нормальному режимі не перевищує її фазне значення, отже клас ізоляції фаз за напругою відносно землі є можливість зменшити в  разів і відповідно цьому зменшити витрати на спорудження мережі. Для обмеження перенапруг, які виникають у цих системах, застосовують так званий ефективний режим заземлення нейтралей трансформаторів. У таких системах кратність внутрішніх перенапруг (Кп=UВН/UФ) не повинна перевищувати *2,5*. Рівень внутрішніх перенапруг залежить від кількості заземлених нейтралей трансформаторів системи. Чим їх більше, тим менше значення перенапруг. Але у випадках глухого заземлення нейтралей великої кількості трансформаторів, що має місце в енергосистемах, значно збільшується струм однофазного КЗ, який може досягати значення струму трифазного КЗ. З цього приводу заземлюють таку кількість нейтралей трансформаторів, яка необхідна для створення ефективного режиму роботи нейтралі в системі з метою обмеження струму КЗ та перенапруг.

До головних недоліків систем із глухозаземленою нейтраллю відносять: зниження безперервності та надійності електропостачання особливо в системах напругою понад 35 кВ у наслідок вимикання мереж під дією однофазних КЗ та необхідність у ньому разі застосування пристроїв автоматичного повторного вмикання (АПВ); значний електромагнітний вплив на лінії та канали зв'язку, які суміщені з лініями електропередач; підвищення витрат на релейний захист, який повинен бути в трифазному виконанні; великі струми однофазних КЗ, що спричиняють значні механічні пошкодження електроустановок; підвищену небезпечність ураження електричним струмом унаслідок значних напруг дотику та напруги кроку; значні витрати па спорудження заземлюючих пристроїв.

3_3

Рис. 4.3. Трипровідна мережа з глухо заземленою нейтраллю.

**4.3. Опис лабораторної установки**

Основною складовою частиною лабораторної установки (Рис.4.) є трифазний трансформатор (Т), первинна обмотка (W1)*,* якого живиться напругою 380 В через автоматичний вимикач. Випуски вторинної обмотки трансформатора (W2) з'єднані з клемами на стенді відповідно: А1, В1, С1 – фазні; N – нейтральна точка трансформатора. Трансформатор працює без навантаження. Мережа імітується лінією з ємнісною провідністю фаз відносно землі, штучно утвореного ємностями С1, С2, СЗ. З цією метою кожна фаза має по три конденсатори (10-20-30 мкФ), які можуть комутуватися за допомогою тумблерів. Струм фаз контролюється амперметрами рA1…рA3, а напруга фаз відносно землі – вольтметрами pVl…pV3. Струм замикання на землю фази *С* контролюється амперметром рА5, який з'єднується із землею через тумблер S12. Щоб уникнути тривалого КЗ на землю системи з глухозаземленою нейтраллю, тумблер S12 необхідно вмикати короткочасно, а послідовно з амперметром рА5 увімкнуті струмообмежувальний резистор за вказівкою викладача.

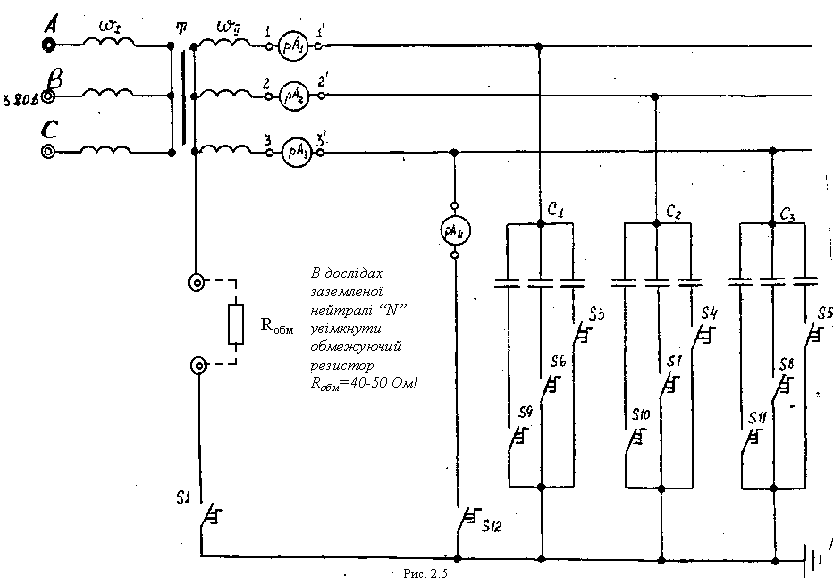


Рис. 4.4. Лабораторний стенд – модель трифазної мережі

Принципова схема стенда дозволяє досліджувати наступні режими:

а) з ізольованою нейтраллю трансформатора;

б) з глухозаземленою нейтраллю трансформатора (клему N необхідно з'єднати провідниками з клемою "з" – земля);

в) з компенсованою нейтраллю трансформатора (для цього клему N з'єднати із землею через амперметр рА4, регульовану індуктивність Lvar, резистор Rvar,=0...40 Ом та тумблер S1);

г) з ефективно заземленою нейтраллю трансформатора (нейтраль з'єднується із землею через струмообмежуючий резистор R0, амперметр рА4 та тумблер S2).

**4.4. Порядок виконання роботи**

1. Вивчити особливості електричних мереж трифазного струму з різними режимами роботи нейтралі, дати аналіз схем та відповідних їм векторних діаграм з точки зору вибору режиму нейтралі для конкретних умов роботи мережі.

2. Вивчити схему стенда лабораторної установки, принцип побудови схем для дослідження різних режимів нейтралі та схем вимірювань характерних параметрів систем.

**Під час вивчення схеми стенда звернути увагу на положення тумблерів та з'єднань у схемі згідно з обраним режимом нейтралі системи та заданих значень ємностей фаз відносно землі. Тумблери S1, S2 та S12 вмикають тільки на короткий час вимірювання параметрів. Рівні напруг у схемі досягають 250 В, а струмів – 5 А, за винятком однофазного КЗ у системі з глухозаземленою нейтраллю, коли його значення понад 100 А. Для обмеження струму КЗ треба послідовно ввімкнути резистор R=30...50 Ом.**

Під час дослідження систем автомат живлення стенда вмикати після того, як вимірювальні прилади установлені на граничні значення.

3. Виконати дослідження системи з ізольованою нейтраллю.

4. Визначити необхідні для побудови векторних діаграм вимірювання напруг та струмів, скласти схему дослідження для таких умов:

Нормальний режим роботи, С1=С2=С3.

Замикання фази на землю, С1=С2=С3.

5. Виконати дослідження системи з глухозаземленою нейтраллю.

Виконати дослідження системи з нейтраллю заземленою через струмообмежувальний резистор (R0)

6. Дати аналіз результатів дослідження режимів нейтралі та векторних діаграм з точки зору впливу режиму нейтралі на безпеку експлуатації електроустановок, на безперервність, надійність та економічність систем електропостачання у взаємозв'язку з рівнями напруг та характером однофазного замикання на землю.

7. Результати вимірювань звести до таблиці 4.1

Табл. 4.1.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Режим нейтралі | Режим роботи СЕП | Ємність на фазу, мкФ | Напруга, В | Струм, А | *R0*, Ом |
| *С1, С2, С3* | *UA/UAB*  *UB/UBC*  *UC/UCA* | *ІА, ІВ, ІС, ІЗ* |
| Ізольована нейтраль | Нормальний |  |  |  |  |
| Замикання фази С |  |  |  |  |
| Глухозаземлена нейтраль | Нормальний |  |  |  |  |
| Замикання фази С |  |  |  |  |

**4.5. Зміст звіту**

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Схема і послідовність проведення дослідів.
3. Результати дослідів, оформлені у вигляді табл. 3.З, та векторних діаграм.
4. Висновки.

**4.6. Контрольні запитання**

1. Дайте визначення існуючих режимів роботи нейтралі трансформаторів та електричних мереж.
2. Сформулюйте області застосування існуючих режимів роботи нейтралі в електричних мережах до 1 кВ і вище.
3. Яка різниця між однофазним замиканням на землю в системах з ізольованою та глухозаземленою нейтралями?
4. За яких умов необхідно застосовувати в мережах компенсовану нейтраль?
5. В яких мережах та за яких умов виникають небезпечні перенапруги?
6. Які недоліки та переваги системи з глухозаземленю нейтраллю?
7. Які недоліки та переваги системи з ізольованою нейтраллю?