

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

Вінницький державний технічний університет

О.В. Кобилянський

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

з дисципліни «Основи охорони праці»

для студентів електротехнічних спеціальностей Ч.1

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як навчальний посібник для студентів електротехнічних спеціальностей. Протокол № 11 від 29 червня 2000 року.

Вінниця ВДТУ 2001

УДК 658.382.3

К55

Рецензенти:

П.Д.Лежнюк , доктор технічних наук , професор

В.Р.Сердюк , доктор технічних наук , професор

В.Л.Таловерья , кандидат технічних наук

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

Кобилянський О.В.

К55 Основи охорони праці. Лабораторний практикум. Частина I. Навчальний посібник. - Вінниця : ВДТУ , 2001. - 106 с.

Навчальний посібник "Лабораторний практикум з дисципліни "Основи охорони праці", призначений для студентів електротехнічних спеціальностей четвертого курсу вищих навчальних закладів. Складається з двох частин. Перша частина посібника вміщує такі лабораторні роботи: №2 "Дослідження ефективності освітлення в виробничих приміщеннях", №7 "Дослідження напруги дотику і кроку", №8 "Вимірювання опору розтікання струму пристроїв заземлення, питомого опору фунту, ізоляції мереж та електроустановок", №11 "Дослідження електробезпеки мереж з ізольованою нейтраллю напругою до 1000В".

Для кожної роботи приводяться необхідні теоретичні відомості, опис приладів та обладнання, які використовуються при дослідженні, задачі досліджень, а також методика проведення робіт. Лабораторні роботи №№ 2,7,8 підготовлені В.П.Якубовичем та Є.П.Бондаренко, №№ 11,12- О.В.Кобилянським.

В додатках дані нормативні вимоги для дослідження.

УДК 658.382.3

© О. Кобилянський, 2001

ЗМІСТ

Передмова	4
1. Дослідження ефективності освітлення у виробничих приміщеннях Лабораторна робота №2	
1.1. Підготовка звіту.....	5
1.2. Теоретичні відомості.....	6
1.3. Експериментальна частина.....	16
1.4 Контрольні запитання	20
Додатки.....	23
Література до розділу 1.....	29
2. Дослідження напруги дотику і кроку. Лабораторна робота №7.	
2.1. Підготовка звіту.....	30
2.2. Теоретичні відомості.....	31
2.3 Експериментальна частина.....	41
2.4. Контрольні запитання	45
Література до розділу 2.....	45
3. Вимірювання опору розтіканню струму пристроїв заземлення, питомого опору ґрунту, ізоляції мереж та електроустановок. Лабораторна робота №8.	
3.1. Підготовка звіту.....	46
3.2. Теоретичні відомості.....	47
3.3. Експериментальна частина.....	57
3.4. Контрольні запитання	64
Додатки.....	65
Література до розділу 3.....	68
4. Дослідження електробезпеки мереж з глухозаземленою нейтраллю напругою до 1000В. Лабораторна робота №11	
4.1. Підготовка звіту.....	69
4.2. Теоретичні відомості.....	70
4.3. Експериментальна частина.....	78
4.4. Контрольні запитання	85
Додаток.....	87
Література до розділу 4.....	88
5 Дослідження електробезпеки мереж з ізолюваною нейтраллю напругою до 1000В. Лабораторна робота №12	
5.1. Підготовка звіту.....	89
5.2. Теоретичні відомості.....	90
5.3. Експериментальна частина.....	99
5.4. Контрольні запитання	104
Література до розділу 5.....	105

ПЕРЕДМОВА

Основи охорони праці - нормативна дисципліна, яка вивчається з метою формування у майбутніх фахівців з вищою освітою необхідного в їхній подальшій професійній діяльності рівня знань та умінь з правових та організаційних питань охорони праці, з питань гігієни праці, виробничої санітарії, техніки безпеки та пожежної безпеки, визначеного відповідними державними стандартами освіти, а також активної позиції щодо практичної реалізації принципу пріоритетності життя та здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності.

Вивчення курсу основ охорони праці можливе лише на основі знань, отриманих із загальноосвітніх та технічних дисциплін. Теоретичні знання та практичні навички, отримані в процесі вивчення дисципліни, допомагають бакалавру та молодшому спеціалісту, які працюють на виробництві, вирішувати проблеми створення безпечних і нешкідливих умов праці.

Викладений нижче лабораторний практикум визначає обов'язковий перелік тем і питань, які повинні бути розглянуті в дисципліні "Основи охорони праці" при підготовці молодших спеціалістів і бакалаврів вищих навчальних закладів освіти усіх рівнів.

Об'єм і вимоги до виконання лабораторних робіт визначенні цим навчальним посібником. У посібнику визначені вимоги до рівня знань матеріалу.

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВФВКТИШНОСТІ ОСВІТЛЕННЯ У ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНИХ. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Мета роботи: ознайомлення з нормативними вимогами до виробничого освітлення, придбання навиків нормування, вимірювання і оцінки ефективності освітлення на робочих місцях.

1.1 ПІДГОТОВКА ЗВІТУ

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту.

Засвоєння теорії контролюється на початку заняття контрольними запитаннями, а без підготовленого звіту студент не допускається до виконання роботи.

Форма звіту повинна включати:

- титульну сторінку (додаток А.1);
- таблиці 1.2 і 1.3,
- розрахункові формули.

При виконанні лабораторної роботи після відповідних вимірювань і розрахунків заповнюються таблиці 1.2 і 1.3, будується графік залежності величини коефіцієнта природної освітленості від розміру (ширини) приміщення і робляться висновки про відповідність фактичного значення коефіцієнта природної освітленості і штучного освітлення нормативним документам (СНиП II-4-79).

1.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.2.1 Основні світлотехнічні положення і терміни

Організація раціонального освітлення виробничих приміщень є однією з найважливіших задач охорони праці. Раціональне освітлення забезпечує психологічний комфорт, поліпшує умови праці, підвищує безпеку робіт і одночасно сприяє поліпшенню якості продукції, підвищенню продуктивності праці. При хорошому освітленні очі протягом довгого часу зберігають здатність добре бачити, не стомлюючись.

Незадовільне освітлення ускладнює виконання роботи, може призвести до нещасного випадку і захворювання органів зору.

Освітлення виробничих приміщень здійснюється штучним і природним світлом.

Основними світлотехнічними величинами є: світловий потік, сила світла, освітленість і яскравість.

Сила світла J - відношення світлового потоку до тілесного кута, в якому він випромінюється. Одиницею сили світла є кандела (кд). Середнє значення сили світла

$$J = \frac{\Phi}{\omega}, \quad (1.1)$$

де ω - тілесний кут, стерadian.

Світловий потік Φ - світлове відчуття, яке викликає оптична частина спектру електромагнітних хвиль довжиною від 0,38 до 0,77 мкм. За одиницю світлового потоку прийнято люмен (лм), який має розмірність кандела x стерadian.

Для гігієнічної характеристики умов освітлення визначеної поверхні прийнята освітленість. Освітленість (E) - відношення світлового потоку до площі S , на яку він розповсюджується. Іншими словами, освітленість - це поверхнева густина світлового потоку. Одиниця освітленості - люкс (лк) має розмірність люмен на квадратний метр (лм/м²).

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (1.2)$$

Яскравість L - відношення сили світла в будь-якому напрямку до площі проекції світлової поверхні, перпендикулярної до цього напрямку. Одиниця яскравості кандела на квадратний метр (кд/м²). Середнє значення величини яскравості рівномірної світлової поверхні

$$L = \frac{J}{S \cos \alpha}, \quad (1.3)$$

де J - сила світла поверхні площею S у напрямку α .

Видимість будь-якого предмета (об'єкта розрізнення) на робочому місці залежить від освітленості, розміру предмета, його яскравості, контрасту з фоном.

Об'єкт розрізнення - предмет, який розглядається, окрема його частина або дефект, який необхідно розрізняти в процесі роботи.

Фон - поверхня, що прилягає безпосередньо до об'єкта розрізнення, на якій він розглядається. Характеристики фону визначаються коефіцієнтом відбиття поверхні ρ , тобто відношенням потоку Φ_B , відбитого від поверхні, до потоку Φ_{Π} , який падає на цю поверхню

$$\rho = \frac{\Phi_B}{\Phi_{\Pi}}. \quad (1.4)$$

Фон буває темний, середній і світлий.

Темний фон - $\rho < 0,2$; середній фон - $0,2 \leq \rho < 0,4$; світлий фон - $\rho > 0,4$.

Відношення абсолютної величини різниці між яскравістю об'єкта L_0 і фону L_{Φ} до яскравості фону L_{Φ} називається контрастом об'єкта розрізнення з фоном

$$K = \frac{|L_0 - L_{\Phi}|}{L_{\Phi}}. \quad (1.5)$$

Контраст буває малий, середній і великий.

Малий - $K < 0,2$ (фон і об'єкт за яскравістю мало відрізняються); середній -

$0,2 < K < 0,5$ (фон і об'єкт за яскравістю помітно відрізняються); великий - $K > 0,5$ (фон і об'єкт різко відрізняються).

В деяких випадках фон і контраст об'єкта з фоном можна визначити візуально. Наприклад, при креслярських роботах: фон (папір) світлий, об'єкт розрізнення (лінія) темний, контраст об'єкта розрізнення з фоном - великий.

1.2.2 Природне освітлення

Природне освітлення справляє позитивний психологічний вплив, перш за все, дякуючи відчуттю зв'язку з навколишнім середовищем, тому його необхідно передбачати для приміщень з постійним перебуванням людей, за винятком випадків, викликаних умовами технології (виробництво напівпровідників, деякі технологічні процеси електронної і радіотехнічної промисловості).

Внаслідок різкого коливання зовнішнього світла, його залежності від атмосферних умов і сезону встановити абсолютне значення природної освітленості неможливо. Тому за кількісну оцінку характеристики природного освітлення прийнята відносна величина коефіцієнт природної освітленості (КПО). Коефіцієнт природної освітленості - це відношення освітленості в даній точці в середині приміщення (E_B) до одночасно заміряної зовнішньої освітленості (E_3), створеній світлом повністю відкритого небосхилу.

$$e = \frac{E_B}{E_3} \cdot 100\% . \quad (1.6)$$

Нормовані вимоги до природного освітлення приведені в СНиП 11-4-79 [1].

При природному освітленні приміщення освітлюються:

а) боковим світлом - через вікна в зовнішніх стінах;

б) верхнім світлом - через ліхтарі у перекриттях;

в) комбінованим світлом - через вікна і ліхтарі у перекриттях.

Освітлення приміщення природним світлом характеризується КПО ряду точок, розміщених па перетині двох площин: умовно прийнятої робочої поверхні, розташованої горизонтально на висоті 0,8 м від підлоги, і вертикальної площини характерного розрізу приміщення. Характерний розріз приміщення - поперечний розріз посередині приміщення, площина якого перпендикулярна площині застосування віконних прорізів (при боковому освітленні). У характерний розріз приміщення повинні потрапляти ділянки, найбільш завантаженні обладнанням, а також точки робочої зони, найбільше віддалені від світлових прорізів.

Криві розподілення штучного світла в приміщеннях приведені на рис. 1.1 (а - при односторонньому боковому освітленні, б - при комбінованому освітленні, А - контрольні точки).

При боковому односторонньому освітленні нормується мінімальне значення КПО в контрольній точці характерного розрізу приміщення, розташованій на відстані 1 м від стіни найбільш віддаленої від віконних прорізів. При двосторонньому боковому - в точці посередині приміщення. При верхньому і комбінованому освітленні нормується середнє значення КПО, яке знаходиться в розрахункових точках (при їх кількості не менше п'яти) характерного розрізу приміщення, причому перша і остання точки знаходяться на відстані 1 м від стін (або середніх рядів колон).

Вся територія СНД, в залежності від географічної широти, розбита на п'ять світлових поясів (додаток Г.1), які впливають на вибір нормованого значення КПО (перший пояс - це північ, п'ятий - південь СНД).

Основна частина території України відноситься до IV-го пояса, а півострів Крим - до V-го.

Четвертий пояс розподіляється на два підпояси:

- а) північніше 50° північної широти;
- б) 50° північної широти і південніше.

Місцезнаходження м. Вінниці - 48° північної широти.

Табличні (нормативні) значення КПО E^{III} (додаток Б.1 і В.1) приведені тільки для третього світлового пояса, на що вказує позначка III. Для всіх інших поясів нормативне значення КПО визначається за формулою:

$$e_H^{I,II,IV,V} = e_H^{III} mC, \quad (1.7)$$

де m - коефіцієнт світлового клімату поясу (додаток Д.1), який характеризує ресурс природної світлової енергії; C - коефіцієнт сонячності клімату (додаток Е.1), який визначає додатковий світловий потік даної місцевості.

Коефіцієнт сонячності клімату залежить від орієнтації світлових прорізів за сторонами горизонту - азимута, який визначається в градусах і відраховується, за рухом годинникової стрілки, від напрямку на північ до перпендикуляра, встановленого до зовнішнього боку вікна приміщення, як це показано на рис. 1.2.

Нормування як природного так і штучного освітлення в виробничих приміщеннях, в першу чергу, повинно здійснюватись за галузевими нормами. Деякі галузеві норми освітленості приведені в літературі [1,2,3].

За відсутністю галузевих норм нормування освітлення в виробничих приміщеннях здійснюється за додатком Б.1, де визначається найменший розмір об'єкта розрізнення. Це пов'язане з тим, що в таких приміщеннях зорова робота може змінюватись через зміну технології, виду продукції, що виробляється, інструментів, приладів, сировини тощо. Тобто, може змінюватись розмір об'єкта розрізнення.

Вибір табличного значення КПО за додатком Б.1 здійснюється в такій послідовності.

1. Вибирається об'єкт розрізнення, тобто предмет чи його окрема частина, який треба розпізнавати під час зорової роботи (наприклад, при

кресленні - лінії на рисунку, при роботі з приладами - шкала вимірювань, при роботі з друкованим текстом - букви (індекси).

2. Вимірюється найменший розмір об'єкта розрізнення, товщина найтоншої лінії на рисунку, товщина лінії градування шкали, товщина лінії букви.

3. За найменшим розміром об'єкта розрізнення визначається один з восьми розрядів зорової роботи та його характеристика.

4. Визначається вид освітлення природним світлом (бокове, верхнє, комбіноване).

5. Вибирається табличне значення КПО для III світлового поясу - e_N^{III} .

6. Далі, за додатком Г.1, визначається пояс світлового клімату, а за додатком Д.1 - коефіцієнт світлового клімату m , який відповідає визначеному поясу.

7. Визначається орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту - азимут (рис. 1.2), а також значення коефіцієнта сонячності клімату (С) за додатком Е. 1.

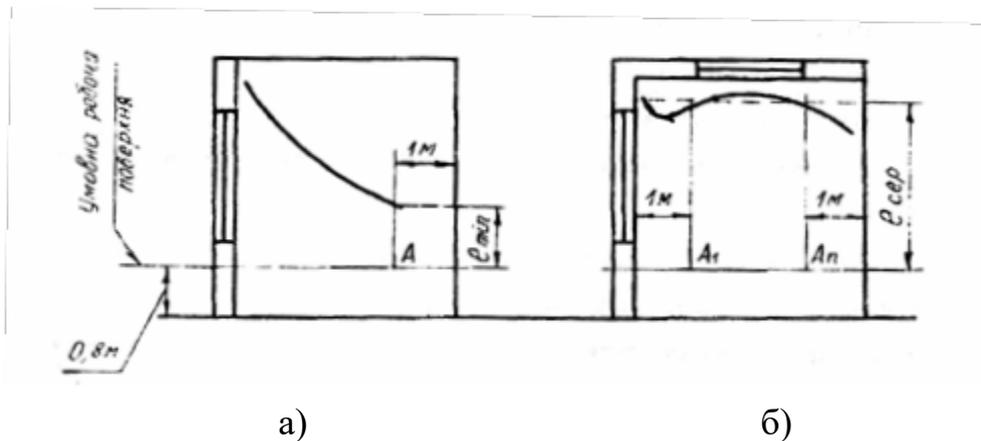


Рисунок 1.1- Криві розподілення природного світла

8. Визначається орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту - азимут (рисі .2), а також значення коефіцієнта сонячності клімату (С) за додатком Е.1.

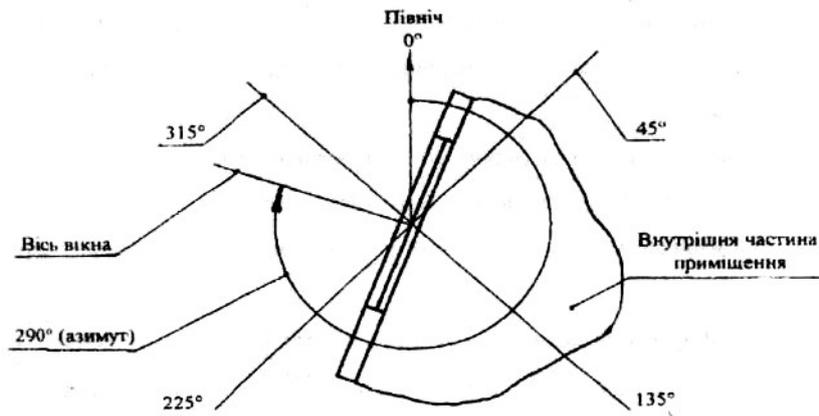


Рисунок 1.2 - Орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту

9. Визначається орієнтація світлових прорізів за сторонами горизонту - азимут (рис. 1.2), а також значення коефіцієнта сонячності клімату (С) за додатком Е.1.

10. Далі, за формулою (1.7), визначається нормоване значення КПО для даного поясу світлового клімату.

Знайдене розрахункове значення КПО заокруглюється до десятої частки.

Для побутових і громадських будівель, організацій, закладів і підприємств, а також допоміжних приміщень підприємств, де зорова робота не змінюється протягом дуже великого часу, табличне значення освітленості (в тому числі КПО e_H^{III}) визначається незалежно від розряду і характеристики зорової роботи. Значення КПО e_H^{III} , для таких приміщень приведені в додатку 3.

Нормування КПО для таких приміщень здійснюється за попередньою схемою, починаючи з пункту 4.

1.2.3 Штучне освітлення

Штучне освітлення приміщень здійснюється газорозрядними лампами і лампами розжарювання.

Основні переваги газорозрядних ламп низького тиску (люмінесцентних): висока світлова віддача, що досягає 75 лм/Вт; великий строк служби (10000 г); можливість вибору спектрального складу.

Недоліки: складність схеми ввімкнення; обмежена потужність і великі розміри; залежність від температури навколишнього середовища (при $t < +10^{\circ}\text{C}$ запалювання ламп не гарантується); робота тільки на змінному струмі; стробоскопічний ефект.

Стробоскопічний ефект - явище спотворення зорового сприйняття рухомих об'єктів, яке виникає при збіганні кратності частотних характеристик руху об'єкта і роботи люмінесцентної лампи.

Наприклад, якщо об'єкт обертається з частотою, яка збігається з частотою роботи люмінесцентної лампи або кратна їй, то уявляється, що об'єкт стоїть на місці і не обертається, або дуже повільно обертається у той чи інший бік. Таке явище може привести до травми.

Існують спеціальні схеми вмикання люмінесцентних ламп в електричну мережу і прилади, які запобігають появі стробоскопічного ефекту.

Лампи розжарювання мають ряд переваг, в числі яких: широкий сортамент найрізноманітніших потужностей і напруг; безпосереднє вмикання в мережу; повна незалежність від умов навколишнього середовища.

Недоліками ламп розжарювання є їх мала світлова віддача, переважність жовто-червоної частини спектра, відносно невеликий строк служби (1000 г).

Нормативні вимоги до штучного освітлення приведені в СНиП II-4-79.

Існує декілька видів штучного освітлення: робоче, аварійне, охоронне, евакуаційне, чергове.

В даній лабораторній роботі розглядається тільки робоче освітлення,

яке може бути загальним, місцевим і комбінованим.

У виробничих приміщеннях застосовуються дві системи штучного освітлення:

а) загальне освітлення (для забезпечення освітленості всього робочого приміщення: робочих місць, проходів, проїздів, місць складування);

б) комбіноване освітлення - до загального освітлення додається місцеве. Система комбінованого освітлення дозволяє спрямовувати світловий потік безпосередньо на робочу поверхню деталей.

Застосування одного місцевого освітлення всередині виробничих приміщень не допускається, тому що при цьому не освітлюються місця проїздів, проходів, складування, що може привести до травмування працюючих.

При нормуванні штучного освітлення в виробничих приміщеннях (як і природного) існують вісім розрядів і характеристик зорової роботи, які визначаються найменшим розміром розрізняваного об'єкта.

Перші три пункти нормування природного освітлення повністю збігаються з початком нормування штучного. Далі йде відмінність:

4. Визначається (в даній роботі візуально) характеристика фону: світлий, середній, темний.

5. Визначається контраст об'єкта розпізнавання з фоном: великий, середній, малий.

6. За додатком Б.1, в залежності від сполучення характеристик фону і контрасту об'єкта з фоном, визначається підрозряд зорової роботи (а, б, в, г).

7. Знаючи розряд і підрозряд зорової роботи, за додатком Б.1, вибираються норми освітленості.

8. Вивчаються примітки до додатку Б.1 і робиться висновок про необхідність зниження, підвищення чи відповідності табличних норм

освітленості даним умовам роботи.

При наявності галузевих норм штучної освітленості (наприклад, для електроприміщень, автогаражів, котелень) треба користуватись останніми (див. літературу [1, 2, 3], а також додаток В.1).

Згідно з СНиП II-4-79 для освітлення приміщень, як правило, необхідно передбачати газорозрядні лампи низького і високого тиску. В разі неможливості чи техніко-економічної недоцільності застосування газорозрядних джерел світла допускається використання ламп розжарювання.

Для місцевого освітлення бажано застосувати газорозрядні (люмінесцентні) лампи.

1.2.4 Суміщене освітлення

В приміщеннях з недостатнім за нормами в світлий час доби природним освітленням застосовують суміщене освітлення - сполучення природного і штучного.

Суміщене освітлення в виробничих і громадських приміщеннях рекомендується застосовувати в таких випадках:

а) в приміщеннях, в яких виконуються зорові роботи I і II розрядів точності;

б) коли вибрані за умовами технології і організації виробництва об'ємно-планувальні рішення будівель не дозволяють забезпечити необхідне за нормами природне освітлення приміщень;

в) в цехах з великогабаритним обладнанням, яке затіняє природне світло;

г) при підвищених вимогах до інтенсивності, якості і постійності освітлення на робочих місцях, які важко чи неможливо задовольнити при одному природному освітленні.

1.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

1.3.1 Вимірювальні прилади і методики вимірювання

Контроль відповідності нормам величини освітленості здійснюється шляхом її вимірювання приладами, які називаються люксометрами, принцип дії яких заснований на явищі фотоефекту.

В даній роботі можуть використовуватись два типи люксометрів: Ю-116 і Ю-117, які призначені для вимірювання освітленості з безпосереднім відділком за шкалою в люксах.

Люксометр типу Ю-116 складається із міліамперметра, селенового фотоелемента типу Ф55С і чотирьох насадок (поглиначів) до фотоелемента.

Прилад має дві шкали вимірювань, градуйованих в люксах: верхня шкала має 100 поділок, нижня - 30 поділок.

Початкові значення діапазонів вимірювань на кожній шкалі відмічені крапкою. На верхній шкалі крапка знаходиться над 17 поділкою, на нижній - над 5 поділкою.

На боковій стінці корпусу вимірювача розміщена штепсельна вилка для приєднання фотоелемента.

Селеновий фотоелемент знаходиться у пластмасовому корпусі і приєднується до вимірювача шнуром з розеткою, яка забезпечує правильну полярність з'єднання.

Для зменшення косинусної похибки вимірювань застосовується півсферна насадка на фотоелемент, зроблена з білої світлорозсіювальної пластмаси. Насадка позначена буквою К, яка нанесена на її внутрішній бік. Ця насадка застосовується не самостійно, а разом з однією із трьох інших насадок, які мають позначки М, Р, Т.

Кожна з трьох насадок разом з насадкою К утворює три поглиначі з коефіцієнтом ослаблення 10, 100, 1000 і застосовується для розширення

діапазонів вимірювання. Діапазон вимірювання і загальний номінальний коефіцієнт ослаблення двох насадок (коефіцієнт перерахування шкали) наведені в таблиці 1.1.

Перед проведенням вимірювань потрібно:

1. Поставити на фотоелемент насадки К і Т. Розмістити фотоелемент і вимірювач на робочому місці.

2. Приєднати фотоелемент до вимірювача.

3. Натиснути праву кнопку на лицьовій панелі вимірювача, над якою нанесені найбільші величини діапазонів вимірювань кратні 10.

4. Якщо стрілка приладу не доходить до 17 поділки за шкалою 0-100, то треба натиснути ліву кнопку, над якою нанесені найбільші значення діапазонів вимірювань кратні 30. В цьому випадку для відліку показань користуються шкалою 0-30.

5. Якщо стрілка приладу не доходить до п'ятої поділки за шкалою 0-30, то треба злегка натиснути праву кнопку, від'єднати фотоелемент, поставити насадки К і Р, приєднати фотоелемент до вимірювача. Далі працювати згідно з пунктами 4, 5.

Якщо з насадками К і М і при натиснутій лівій кнопці стрілка не доходить до п'ятої поділки за шкалою 0-30, вимірювання необхідно виконувати без насадок, тобто відкритим фотоелементом.

Показання приладу в поділках за відповідною шкалою необхідно помножити на коефіцієнт перерахування шкали, вказаний в табл.1.1 в залежності від застосовуваних насадок.

Наприклад, на фотоелементі установлені насадки К і Р, натиснута ліва кнопка, стрілка показує 10 поділок за шкалою 0-30. Вимірювана освітленість дорівнює $10 \times 100 = 1000$ Лк.

В кінці вимірювання від'єднати фотоелемент від вимірювача люксметра, установити на фотоелемент насадку Т; укласти фотоелемент в кришку футляра.

Таблиця 1.1.- Діапазон вимірювань і номінальний коефіцієнт ослаблення насадок

Діапазон вимірювань, лк	Умовне позначення одночасно застосовуваних двох насадок на фотоелементі	Загальний номінальний коефіцієнт ослаблення застосовуваних двох насадок - коефіцієнт перерахування шкали
5-30 17- 100	Без насадок, з відкритим фотоелементом	1
50 - 300 170- 1000	К, М	10
500 - 3000 1700 - 10000	К, Р	100
5000 - 30000 17000- 100000	К,Т	1000

УВАГА!

Бережіть люксметр від ударів і струшувань. Бережіть фотоелемент від надмірної освітленості, не відповідній вибраним насадкам. Поводьтесь з фотоелементом і насадками як з оптичним приладом.

1.3.2 Виконання лабораторної роботи

Завдання 1.1. Нормування і визначення КПО в приміщенні лабораторії.

1. Підготувати табл. 1.2. до запису результатів вимірювання і розрахунків. Пункти табл. 1.2., починаючи з пункту 2, збігаються з нижчеприведеними пунктами виконання завдання 1.1.

2. За допомогою люксметра виміряти внутрішню горизонтальну освітленість (Ев) в точках характерного розрізу приміщення лабораторії. Першу і останню точки вимірювань взяти відповідно на віддалі 1 м від

вікна (від протилежної віконному прорізу стіни).

3. Значення зовнішньої освітленості (E_v) задає викладач.
4. Розрахувати величину КПО для кожної точки, користуючись формулою (1.6).
5. Перенести розрахункове значення величини КПО в контрольній точці лабораторії з пункту 4 у пункт 5.
6. Визначити табличне (додаток В.1) значення КПО e_H^{III} для учбової лабораторії.
7. За додатком Г.1 визначити пояс світлового клімату для м Вінниці.
8. За додатком Д.1 визначити коефіцієнт світлового клімату, який відповідає визначеному поясу.
9. Використовуючи рис. 1.2, визначити азимут орієнтації світлових прорізів лабораторії.
10. За додатком Е.1 визначити коефіцієнт сонячності клімату S .
11. За формулою (1.7) розрахувати нормоване значення КПО для лабораторії. Зробити висновок про відповідність нормованого значення КПО фактичному. Побудувати криву залежності КПО від відстані. На кривій позначити контрольну точку, в якій нормується КПО для приміщення лабораторії.

Завдання 1.2. Нормування і вимірювання характеристик штучного освітлення в приміщенні лабораторії.

Підготувати табл. 1.3. для запису результатів вимірювання. Пункти табл. 1.3. збігаються з нижчеприведеними пунктами виконання завдання 1.2.

1. Виявити, що є об'єктом розрізнення при виконанні лабораторної роботи.
2. За допомогою вимірювальної лінзи виміряти найменший розмір об'єкта розрізнення.

3. Далі всі пункти табл.1.3. заповнюються за додатком Б.1. Визначити характеристику зорової роботи.

4. Знайти розряд зорової роботи, який відповідає визначеній характеристиці.

5. Візуально визначити характеристику фону, на якому знаходиться об'єкт розрізнення.

6. Візуально визначити контраст об'єкта з фоном.

7. За сполученням характеристик фону і контрасту об'єкта з фоном визначити підрозряд зорової роботи

8. Відповідно до розряду і підрозряду зорової роботи вибрані норми штучного освітлення.

9. Вивчити примітки до додатка Б.1 і вирішити, чи необхідно їх урахувати. При необхідності їх урахування використані шкалу нормованих значень освітленості (додаток Ж.1). Вибір поправок обґрунтувати, про що зробити відповідний запис нижче табл. 1.3.

10. Закрити вікна шторами. Визначити загальне освітлення лабораторії за допомогою люксметра визначити найменше значення освітленості на робочій поверхні стола. Ввімкнути місцеве освітлення і виміряти величину комбінованого освітлення.

Порівняти нормовані і виміряні значення освітленості і сформулювати висновки. У висновках дати повну характеристику зорової роботи, яку можна виконувати при виміряній освітленості, використовуючи при цьому додаток Б.1.

1.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати визначення основних світлотехнічних понять і величин.
2. Що є критерієм кількісної оцінки природного освітлення?
3. Що таке умовно прийнята горизонтальна поверхня?

4. Що таке характерний розріз приміщення при боковому освітленні?
5. Зобразіть криві розподілення природного світла в приміщенні при боковому і комбінованому освітленні. Покажіть величину середнього і мінімального значення КПО.
6. В якій точці кривої розподілення КПО нормується його значення при боковому освітленні?
7. Як здійснюється вибір табличного значення КПО?
8. Що таке найменший об'єкт розрізнення?
9. Як визначається нормоване значення КПО?
10. Що таке коефіцієнт сонячності і коефіцієнт світлового клімату?
11. Перерахуйте основні переваги і недоліки газорозрядних ламп і ламп розжарювання.
12. Які існують системи і види штучного освітлення?
13. Чому забороняється використання одного місцевого освітлення в виробничих приміщеннях?
14. Як здійснюється нормування штучного освітлення в виробничих приміщеннях?
15. В яких випадках норми освітленості штучним світлом підвищуються, а в яких знижуються?
16. Назвіть границі і поясніть порядок вимірювання освітленості люксометром Ю-116.

Таблиця 1.2 - Визначені і нормовані значення КПО в приміщенні лабораторії

Точка вимірювання	Ев, лк	Ез, як	Розрахункове значення КПО, %	5. КПО в контрольній точці, %	
				6. Табличне значення КПО e_H^{III} , %	
				7. Пояс світлового клімату	
1	2	3	4	8. Коефіцієнт світлового клімату m	
1				9. Азимут, град.	
2			10. Коефіцієнт сонячності клімату S		
3			11. Нормоване значення КПО, %		
4			Висновок:		
5					

Таблиця 1.3- Нормовані і вимірні значення штучної освітленості в приміщенні лабораторії

Об'єкт розрізнення	Найменший розмір об'єкта, мм	Характеристики роботи	Рядової роботи	Характеристики фону	Контраст об'єкта з фоном	Підряд	Нормоване значення освітленості з урахуванням поправок, лк	Вимірне значення освітленості, лк		Вимірне значення освітленості, лк	
1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	

Норма освітленості підвищена (знижена) в зв'язку з: _____

Висновки: _____

Додаток А.1

Зразок титульної сторінки звіту (звітів) до лабораторної роботи (лабораторних робіт)

Звіт до кожної лабораторної роботи може бути оформлений окремо на стандартних зшитих аркушах, де перша сторінка повинна бути титульною.

<p>ВДТУ</p> <p>Кафедра охорони праці, безпеки життєдіяльності та правознавства</p> <p>ЗВІТ</p> <p>До лабораторної роботи №2 з курсу "Основи охорони праці" Дослідження ефективності освітлення в виробничих приміщеннях</p> <p>Виконав ст.гр. 1АТ-93 ФАКСУ Бабченко М.П. " ___ " _____ 200__ р. Прийняв _____</p>
--

Звіти до лабораторних робіт можуть бути оформлені в одному зошиті або зшитих у зошит стандартних аркушах, де перша сторінка повинна бути титульною:

ЗВІТИ

До лабораторних робіт з курсу "Основи охорони праці"

(хто їх виконав)

Звіт до кожної лабораторної роботи починається з нового аркуша, де вказується номер роботи, її назва, мета роботи, необхідні формули і таблиці. В кінці звіту ставиться дата виконання лабораторної роботи

Додаток Б.1

Норми освітленості робочих поверхонь у виробничих приміщеннях за

СНиП II-4-79

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Штучне освітлення		Природне освітлення	
						Освітленість, лк		КПО e_H^{III} , %	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або комбіноване	Бокове
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Найвищої точності	Менше 0,15	I	a	Малий	Темний	5000	1500	10	3,5
			б	Малий Середній	Середній Темний	4000	1250		
			в	Малий Середній Великий	Світлий Середній Темний	2500	750		
			г	Середній Великий Великий	Світлий Світлий Середній	1500	400		
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	a	Малий	Темний	4000	1250	7	2,5
			б	Малий Середній	Середній Темний	3000	750		
			в	Малий Середній Великий	Світлий Середній Темний	2000	500		
			г	Середній Великий Великий	Світлий Світлий Середній	1000	300		
Високої точності	Більше 0,3 до 0,5	III	a	Малий	Темний	2000	500	5	2
			б	Малий Середній	Середній Темний	1000	300		
			в	Малий Середній Великий	Світлий Середній Темний	750	300		

Продовження додатка Б.1

			г	Середній Великий Великий	Світлий Світлий Середній	400	200		
Середньої точності	Більше 0,5 до 1	IV	а	Малий	Темний	750	300	4	1,5
			б	Малий Середній	Середній Темний	500	200		
			в	Малий Середній Великий	Світлий Середній Темний	400	200		
			г	Середній Великий Великий	Світлий Світлий Середній	300	150		
Малої точності	Більше І до 5	V	а	Малий	Темний	300	200	3	1
			б	Малий Середній	Середній Темний	200	150		
			в	Малий Середній Великий	Світлий Середній Темний	-	150		
			г	Середній Великий Великий	Світлий Світлий Середній	-	100		
Груба (ду же мала і точність)	Більше 5	VI	-	Незалежно від харак- теристик фону і контрасту об'єкта з фоном		-	150	2	0,5
Робота з самоосвітлю- вальними матеріалами та виробами в гарячих	Більше 0,5 I	VII	-	Теж		-	200	3	1

Продовження додатка Б.1

Загальний нагляд за ходом виробничого процесу.Потійний		VIII	а	Незалежно від характеристик фону і об'єкта з фоном	-	7,5	1	0,3
Періодичний при постійному перебуванні людей у приміщенні			б	Теж	-	50	0,7	0,2
Періодичний при періодичному перебуванні людей у приміщенні			в	Теж	-	30	0,5	0,1

Примітки:

1. В таблиці приведені значення КПО e_H^{III} тільки для зон з нестійким сніговим покривом, куди відноситься територія України, і не приведені нормативні вимоги до суміщеного освітлення.

2. При різних розрядах зорової роботи, яка відбувається в одному приміщенні, значення як штучної так і природної освітленості встановлюються за найбільш точною зоровою роботою, якій відповідає не менше 25% робочих місць.

3. В приміщеннях, спеціально призначених для роботи або виробничого навчання підлітків, нормативне значення КПО підвищується на один розряд.

4. Норми штучної освітленості, приведені в таблиці, треба підвищувати на один ступінь за шкалою (додаток Ж. 1):

а) при роботах I-IV розрядів, якщо напружена зорова робота виконується протягом всього робочого дня;

Продовження додатка Б.1

б) при підвищеній загрозі травматизму в місцях, де освітленість при системі загального освітлення складає 150 лк або менше.

5. Норми штучної освітленості, приведені в таблиці, треба знижувати на один ступінь за шкалою (додаток Е.1) в приміщеннях, де виконуються роботи V і VI розрядів:

а) при короткочасному перебуванні людей:

б) при наявності обладнання, яке не потребує постійного обслуговування.

Додаток В.1

Норми освітленості робочих поверхонь в приміщеннях громадських будинків, організацій і закладів (СНиП II-4-79)

<u>Приміщення</u>	Площина (Г-горизонтальна, В-вертикальна) нормування освітленості і КПО, висота площини над підлогою, м	Штучне освітлення, лк	Природне освітлення, КПО e_H^{III} , %	
			Верхнє і комбіноване	Бокове
Будинки управлінь				
1. Кабінети і робочі кімнати, проектні кабінети	Г-0,8	300	-	1
2. Машинописні і машинолічильні бюро	Г-0,8	400	4	1,5
3. Проектні зали, конструкторські, креслярські бюро	Г-0,8	500	5	2
Школи, ПТУ, середні і вищі учбові заклади				
4. Аудиторії, класні кімнати, лабораторії	В-посередині дошки	500	-	-
	Г-на робочих столах і партах	300	4	1,5
5. Кабінети технічного креслення і рисування	Г-0,8 на робочих столах	500	5	2
6. Кабінети і кімнати викладачів	Г-0,8	200	-	1

Примітка: в таблиці приведені значення КПО e_H^{III} тільки для зон з нестійким сніговим покривом, куди відноситься територія України.

Додаток Г.1

Райони розміщення будівель на території СНД

Пояс	Населений пункт
I	Архангельськ, Мурманськ, Норільськ, Діксон, Тіксі
II	Санкт-Петербург, Талін, Рига, Верхоянськ, Анадир
III	Москва, Мінськ, Омськ, Якутськ, Охотськ
IV а) північніше 50° північної широти б) 50° північної широти і південніше	Київ, Уральськ, Павлодар, Чита, Барнаул, Цілиноград, Вінниця, Кишинів, Волгоград, Караганда, Еліста
V а) північніше 40° північної широти б) 40° північної широти і південніше	Сімферополь, Грозний, Тбілісі, Баку, Ташкент, Ашхабад, Бешкек

Додаток Д.1

Значення коефіцієнта світлового клімату m

Пояс світлового клімату (див. додаток 4)	Коефіцієнт світлового клімату m
I	1,2
II	1,1
IV	0,9
V	0,8

Додаток Е.1

Значення коефіцієнта сонячності клімату С

Пояс світлового клімату (див. додаток Г.1)	Коефіцієнт сонячності клімату С		
	Світлові прорізи, орієнтовані по сторонах світу (відрахування азимута від півночі, див. рис. 1.2), град.		
	136-255	226-315; 46-135	316-45
IV			
А) північніше 50° північної широти	0,75	0,8	1
Б) 50° північної широти і південніше	0,7	0,75	0,95
V			
А) північніше 40° північної широти	0,65	0,7	0,9
Б) 40° північної широти і південніше	0,6	0,65	0,85

Додаток Ж.1

Шкала нормованих значень освітленості, які відрізняються на один ступінь, Лк:

0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3;5; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000;2500; 3000; 4000; 5000.

Література до розділу 1

1. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования.
2. Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (к СНиП II-4-79). НИИСФ - М: Стройиздат, 1985. - 384 с.
3. Безопасность производственных процессов. Справочник. Под ред.

С.В. Белова. -М.: Машиностроение, 1985. - 448 с.

4. ГОСТ 8.417-81. Единицы физических величин.

5. Люксметр Ю-116. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. -М.: в/о Машприборинторг СССР.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУГИ ДОТИКУ ТА КРОКУ.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Мета роботи: дослідити електробезпеку при однофазному замиканні на землю в трифазній мережі;

виявити ступінь і характер зміни напруги дотику і кроку, а також сили струму, який протікає через тіло людини, в залежності від її місця знаходження по відношенню до заземлювача.

2.1 ПІДГОТОВКА ЗВІТУ

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту.

Засвоєння теорії контролюється на початку заняття за контрольними запитаннями. Без знань теорії і відсутності форми звіту студент не допускається до виконання лабораторної роботи. Форма звіту повинна включати:

- титульну сторінку;
- таблиці 2.1 і 2.2, куди зводяться результати вимірювань напруг U_{∂} і кроку U_k .

Після заповнення таблиць 2.1 та 2.2:

- будуються графіки змін напруг дотику і кроку, а також сили струму, який протікає через людину, в залежності від відстані до заземлювача;
- робляться висновки про характер зміни U_{∂} і U_k в залежності від положення ЛЮДИНИ по відношенню до заземлювача, про оптимальні (з точки зору електробезпеки) відстані від заземлювача до людини при дії U_{∂} і U_k , обґрунтованих на нормованих (рекомендованих) значеннях напруг дотику та напруги кроку, значення яких знаходяться відповідно до п.2.2.5.

2.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.2.1 Загальні відомості

Електричне замикання на землю - це електричне з'єднання струмопровідних частин з землею або з неструмопровідними конструкціями чи предметами, які проводять електричний струм і неізолювані від землі. Такий контакт може бути випадковим або навмисним.

В останньому випадку провідник або група з'єднаних між собою провідників, які знаходяться в контакті з землею, називається заземлювачем. Одиначний провідник, який знаходиться в контакті з землею називається одиначним заземлювачем, або електродом, а заземлювач з декількох паралельно з'єднаних електродів, називається груповим або складним заземлювачем.

Причинами протікання струму на землю є замикання струмопровідних частин на корпус електричного обладнання, який з'єднано через заземлювач з землею, падіння проводу на землю і т. п. В усіх цих випадках відбувається різке зниження потенціалу (тобто напруги відносно землі) струмопровідної частини, яка з'єднана з землею.

Це явище (надто сприятливе за умовами безпеки) використовують як міру захисту від ураження струмом при випадковій появі напруги на металевих неструмопровідних частинах, які з цією метою заземлюють. Однак, наряду з зниженням потенціалу струмопровідної частини, яка з'єднана з землею, при проходженні струму в землю виникають і негативні явища, а саме - поява потенціалів на заземлювачі і металевих частинах, які знаходяться в контакті з ним, а також на поверхні ґрунту навколо місця розтікання струму по землі. Різниця потенціалів окремих точок кола струму, яка виникає при цьому, в тому числі точок на поверхні землі, можуть досягати великих значень і бути небезпечною для людини.

Значення потенціалів, їх різниця і характер зміни, а також

обумовлена ними небезпека враження людини струмом, залежать від багатьох факторів: значення струму, який тече в землю, конфігурації, розмірів, числа і взаємного розташування електродів, що складають груповий заземлювач; питомого опору ґрунту та ін.

2.2.2 Розподіл потенціалу на поверхні землі при замиканні на землю

Проходження струму в землю супроводжується виникненням на заземлювачі і в землі навколо заземлювача, а також на її поверхні потенціалів.

Щоб визначити від чого залежать значення цих потенціалів, як вони змінюються при змінах відстані до заземлення, розглянемо в якості прикладу випадок проходження струму в землю через напівкульовий заземлювач радіусом r (рис. 2.1). Напівкульовий заземлювач на практиці, як правило, не застосовуються. Однак використання його в якості прикладу зручно, оскільки при цьому різко спрощуються математичні висновки. Для більшого спрощення припустимо, що земля на всьому обсязі однорідна, тобто в будь-якій точці має однаковий питомий опір ρ , Ом·м.

Оскільки земля однорідна, струм в ній буде розтікатися від напівкулі рівномірно і симетрично в усі сторони (від радіуса напівкулі) щільність його в землі буде зменшуватися з віддаленням від заземлювача. На відстані x , м, від центра напівкулі густина струму, А/м²,

$$j = I_3 / 2\pi x^2, \quad (2.1)$$

В об'ємі землі, де проходить струм, виникає так зване *поле розтікання струму*. Теоретично воно займає простір до нескінченності. Однак в дійсних умовах вже на відстані 20 м від заземлювача переріз шару землі, через який проходить струм, виявляється настільки великим, що густина струму тут практично дорівнює нулю. Отже, в даному випадку,

тобто при напівкульовому заземлювачі малого радіусу, поле розтікання можна вважати обмеженим об'ємом напівсфери радіус якої дорівнює приблизно 20 м.

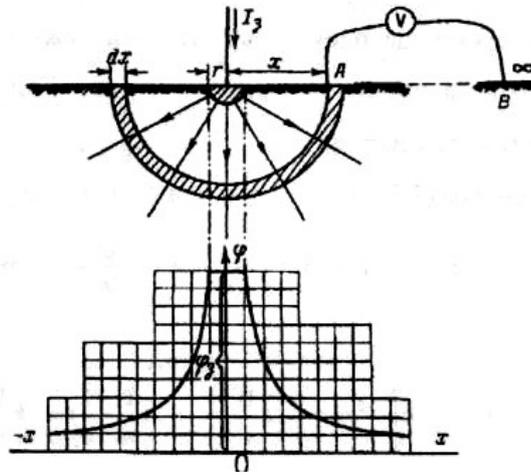


Рисунок 2.1 - Розподіл потенціалу на поверхні землі навколо півкульового заземлювача

При змінному струмі частотою 50 Гц поле розтікання струму у однорідному середовищі можна розглядати як стаціонарне електричне поле, напруженість якого E , В/м, зв'язана з густиною струму співвідношенням (закон Ома в диференціальній формі)

$$E = j \cdot \rho. \quad (2.2)$$

При цьому лінії напруженості електричного поля збігаються з лініями густини струму, що в даному випадку збігається також з радіусами напівкульового заземлювача.

Враховуючи (2.1),

$$E = I_3 \cdot \rho / 2\pi x^2$$

Падіння напруги в елементарному шарі землі товщиною ax , м,

$$dU = E \cdot dx = \frac{I_3 \rho}{2\pi x^2} dx. \quad (2.3)$$

Для визначення потенціалу будь-якої точки в об'ємі землі, наприклад точки А, виберемо ще одну точку (В), яка лежить в нескінченності і

потенціал якої відомий і дорівнює нулю. Тоді напруга (різниця потенціалів) $U = \varphi_A - \varphi_\Phi = \varphi_{A\dots}$

З урахуванням (2.3), потенціал точки А, дорівнює :

$$\varphi_A = \int_x^\infty dU = \int_x^\infty \frac{I_3 \rho}{2\pi x^2} dx; \frac{I_3 \rho}{2\pi} = k = const.$$
$$\varphi_A = k \int_x^\infty x^{-2} dx = -k \frac{1}{x} \Big|_x^\infty = -k \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{x} \right) = k \frac{1}{x}, \quad (2.4)$$

тобто потенціал точки з віддаленням її від заземлювача зменшується за гіперболічним законом (рис. 2.1).

Максимальний потенціал буде при найменшій відстані від заземлювача, тобто на поверхні заземлювача при $x = r$

$$\varphi_{\max} = \varphi \frac{I_3 \rho}{2\pi r} = I_3 R_3, \quad (2.5)$$

де r - радіус заземлювача, м; $R_3 = \frac{\rho}{2\pi \cdot r}$ - опір розтіканню (опір заземлювача), Ом. φ_{\max} - це потенціал напівкульового заземлювача.

Мінімальний потенціал, тобто $\varphi = 0$, буде мати точка, яка знаходиться на відстані від заземлювача $x = \infty$. Практично область нульового потенціалу починається приблизно з відстані 20 м від заземлювача.

Отже, потенціал на поверхні землі навколо півкульового заземлювача змінюється за законом гіперболи. Зменшуючись від максимального значення φ_3 до нуля при віддаленні від заземлювача (рис. 2.1).

Очевидно, що для даного випадку (як і для деяких інших одиничних заземлювачів - стержньового, дискового і т. п.) екіпотенціальні лінії на поверхні землі представляють собою концентричні кола, центром яких є центр заземлювача.

В реальних умовах, коли ґрунт навколо заземлювача неоднорідний,

еквіпотенціальні лінії можуть значно відрізнятись від кіл і зміна потенціалу при вилученні від заземлювача буде відбуватися не по гіперболі, а по довільній кривій.

В зоні розтікання струму людина може опинитись під різницею потенціалів, наприклад, на відстані кроку.

2.2.3 Напряга кроку

Напрягою кроку називається напряга між двома точками кола струму (різниця потенціалів точок дотику), розташовані одна від одної на відстані кроку, на яких водночас стоїть людина.

На рис. 2.2 зображено визначення напряги між точками на поверхні землі (чи іншої основи, на якій стоїть людина) в зоні розтікання струму з одиничного півкульового заземлювача. В цьому випадку напряга кроку буде визначатися як різниця потенціалів φ_x і φ_{x+a} між двома точками на поверхні землі в зоні розтікання струму, які знаходяться на відстані x і $x+a$ від заземлювача і на відстані кроку одна від одної і на яких водночас стоїть людина. При цьому довжина кроку a приймається рівною 0,8 м. Таким чином, напряга кроку U_k , В, буде

$$U_k = \varphi_x - \varphi_{x+a} = I_h \cdot R_h = \varphi_3 \cdot \beta_1, \quad (2.6)$$

де β_1 - коефіцієнт напряги кроку, який враховує форму потенціальної кривої:

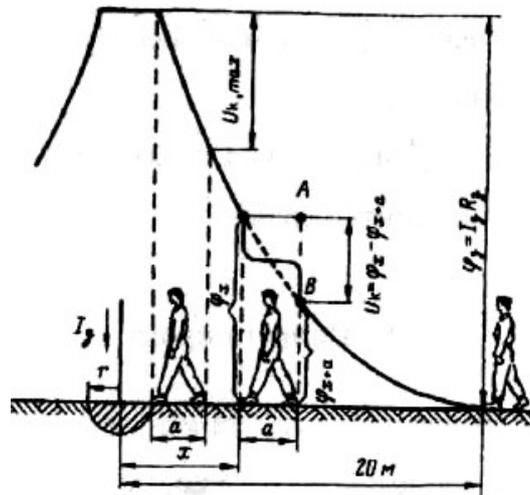


Рисунок 2.2 - Напряга кроку при одиничному півкульовому заземлювачі

Оскільки різниця потенціалів між двома точками, на яких стоїть людина, ділиться між опором тіла людини R_h і послідовно з'єднаними з ним опором взуття $R_{вз}$ та опором розтікання основи $R_{осн}$, то

$$\varphi_3 \cdot \beta_1 = I_h (R_h + R_{вз} + R_{осн}) = I_h \cdot R_{нов} = I_h \cdot R_h \cdot R_{нов} / R_h, \quad (2.7)$$

де $R_{нов} = R_h + R_{вз} + R_{осн}$ - повний опір людини.

В свою чергу $I_h \cdot R_h = U_{кр}$.

Таким чином, вираз для напруги кроку з урахуванням падіння напруги на опорі взуття та опорі основи, на якій стоїть людина, згідно з (2.7) прийме вигляд

$$U_{кр} = \varphi_3 \cdot \beta_1 \beta_2, \quad (2.8)$$

де β_2 - коефіцієнт, що враховує падіння напруги у додаткових опорах ланцюгів людини:

$$\beta_2 = R_h / R_{нов} = R_h / (R_h + R_{вз} + R_{осн}).$$

Висновки :

1. Чим ближче знаходиться людина до заземлювача, по якому протікає струм замикання, тим більша напруга кроку діє на неї. Тому не рекомендується підходити до місця замикання без використання спеціальних захисних засобів ближче ніж на 5... 6 м.

2. Чим крутіша потенціальна крива заземлювача, тим більша напруга кроку. Це характерно для одиничних заземлювачів будь-якої форми, а також для групових, які мають велику відстань між сусідніми заземлювачами (10 м і більше).

3. небезпека ураження знижується внаслідок зменшення напруги кроку і струму, який проходить через людину, при збільшенні опору основи, на якій стоїть людина. Тому в якості ефективних заходів захисту раціонально використовувати діелектричні боти, калоші, а також покриття поверхні землі гравієм, укладання діелектричних килимків і т.п.

При замиканні на землю через корпус заземленого обладнання корпус також опиниться під потенціалом заземлювача. У випадку доторкання до корпусу людина опиниться під напругою дотику.

2.2.4 Напруга дотику

Напруга дотику U_{δ} - напруга (різниця потенціалів) між двома точками кола струму, до яких одночасно торкається людина (рис. 2.3).

При захисному заземленні, зануленні одна з цих точок має потенціал заземлювача φ_3 , а інша - потенціал основи в тому місці де стоїть людина, $\varphi_{осн}$. В цьому випадку напруга дотику буде

$$U_{\delta} = \varphi_3 - \varphi_{осн} = \varphi_3 \cdot \alpha_1, \quad (2.9)$$

де α_1 - коефіцієнт напруги дотику, який враховує форму потенціальної кривої;

$$\alpha_1 = (\varphi_3 - \varphi_{осн}) / \varphi_3 \leq 1$$

За аналогією з напругою кроку вираз для напруги дотику з урахуванням падіння напруги на взутті та основі буде мати вигляд

$$U_{\delta} = \varphi_3 \cdot \alpha_1 \alpha_2, \quad (2.10)$$

де α_2 - коефіцієнт, що враховує падіння напруги у додаткових опорах

ланцюгів людини:

$$\alpha_2 = R_h / R_{нов} = R_h / (R_h + R_{вз} + R_{осн})$$

$R_{нов}$ - повний опір людини.

Розглянемо випадок дотику людини до корпусів електродвигунів, які заземлені за допомогою одиничного півкульового заземлювача (рис.1). При замиканні на корпус в одному з цих двигунів, на заземлювачі і всіх приєднаних до нього металевих частинах, в тому числі на корпусах двигунів, з'явиться потенціал ϕ_3 . Поверхня землі навколо заземлювачі також буде мати потенціал, що змінюється по кривій, що залежить від форми і розмірів заземлювача.

Напруга дотику для людини, яка торкається до заземленого корпусу двигуна і стоїть на землі (рис. 2.3, де 1- потенціальна крива; 2 - крива, яка характеризує зміну напруги $U_{дон}$), визначається відрізком AB і залежить від форми потенціальної кривої і відстані A - між людиною і заземлювачем: чим далі від заземлювача знаходиться людина, тим більше U_{δ} і навпаки.

Так, при найбільшій відстані, тобто при $x = \infty$, а практично при $x \geq 0$ м (випадок 2 на рис. 2.3.) напруга дотику має найбільше значення: $U_{\delta} = \phi_3$; при цьому $\alpha_1 = 1$.

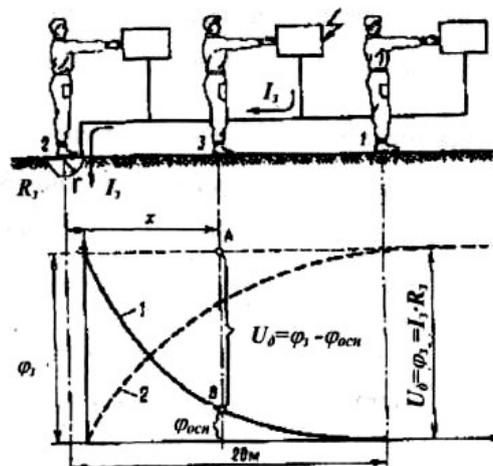


Рисунок 2.3 - Напруга дотику при одиничному заземлювачі:

Це найбільш небезпечний випадок дотику.

При найменшому значенні x , тобто коли людина стоїть безпосередньо на заземлювачі (випадок 3 на рис. 2.3.), $U_d = 0$; при цьому $\alpha_1 = 0$. Це безпечний випадок: на людину напруга практично не впливає, хоча вона знаходиться під потенціалом заземлювача φ_3 .

При інших значеннях x в межах 0 – 20 м (випадок 1) U_d плавно зростає від 0 до φ_3 . Крива напруги дотику є дзеркальним відображенням кривої зміни потенціалу основи.

Висновки:

1. З віддаленням від заземлювача напруга дотику збільшується і стає практично рівною з напругою заземлювача на відстані 20 м і більше від нього.

2. Небезпека ураження знижується внаслідок зменшення напруги дотику і струму, який проходить через тіло людини. Силу струму можна зменшити збільшенням опору основи, використовуючи діелектричні боти, калоші і покриваючи землю гравієм і т.п.

3. Для зменшення напруги дотику /напруги кроку/, необхідно, щоб крива розподілення потенціалів в зоні розтікання була, по можливості, більш похилою. Це досягається вирівнюванням потенціалів за допомогою пристроїв заземлення у вигляді замкнутих контурів, або ж у вигляді металевої сітки під площею, на якій встановлено електрообладнання.

2.2.5 Нормування напруги дотику та кроку

В якості нормованих значень напруги дотику за ГОСТом 132.1.038-82 [1] прийняті гранично-допустимі рівні напруги дотику; їм відповідають гранично-допустимі рівні струмів. При цьому враховуються вид дотику (одно-, двофазний), час дії, режим електроустановки (нормальний - якщо

не має пошкодження ізоляції, аварійний - коли є пошкодження); частота (50 Гц і 400 Гц) і вид струму (постійний: одно- та двопівперіодний, змінний). В табл. 2.1. приведені гранично допустимі рівні напруги дотику та струму при проходженні струму від однієї руки до другої та від руки до ніг при нормальному режимі електроустановок для мереж до 1000 В з будь-яким режимом нейтралі і вище з ізолюваною нейтраллю.

Значення напруг та струмів для осіб, що виконують роботу в умовах високих температур (понад 25°C) та відносної вологості повітря (вище 75%), параметри нормуються у три рази менші.

Таблиця 2.1.

Показник	Час дії t , сек					
	0,1	0,2	0,5	0,9	1	Більше 1
Напруга, В	340	160	105	70	60	20
Сила струму, мА	400	190	125	65	50	6

Розрахункове значення напруги кроку рекомендується вираховувати згідно з [2], В,

$$U_{кр} = \frac{(1000 + 6\rho) \cdot 0,116}{\sqrt{t}}, \quad (2.10)$$

де ρ - питомий опір поверхневого шару землі, Ом·м;

t - час дії, тобто тривалість замикання, с.

Значення ρ і t задає викладач.

2.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.3.1 Будова стенда

Стенд, на якому досліджують U_k , U_∂ і I_h має на лицевій панелі частини схеми, які світяться. На ній розміщені органи управління: вимикачі "сеть", "замыкание"; перемикачі " U_∂ ", " U_k " (для вимірювання напруги відповідно дотику і кроку) і перемикач положень з одинадцятьма фіксованими положеннями, а також вимірювальні прилади. На панелі зображені: повітряна лінія електропередач з металевою опорою, яка заземлена через заземлювач; криві - потенціальна і напруги дотику. Місця де проводяться дослідження висвічуються лампочками, встановленими на різній відстані від заземлювача.

2.3.2 Проведення експерименту

Завдання 2.1. Дослідити характер зміни:

а/ напруги кроку у залежності від місця знаходження людини по відношенню до заземлювача;

б/ сили струму, який протікає через тіло людини, в залежності від дії змінюваної напруги кроку.

1.1. Підготувати табл. 2.1 для запису результатів вимірювань.

1.2. Привести стенд в початкове положення. Вимикачі "Сеть" і "Замыкание" поставити у виключене положення /вниз/, перемикач " U_∂ ", " U_k " - в середнє положення, між індексами " U_∂ " і " U_k " перемикач положення людини по відношенню до заземлювача - у положення "1".

1.3. Вибрати схему для виконання завдання. Для цього вимикач "Сеть" перевести в робоче положення /вверх/; при цьому загорається надпис " 10 кВ", який свідчить про подачу напруги на стенд.

Таблиця 2.1 - Данні досліджень U_k і I_h

№ п/п	Положенні людини по відношенню до заземлювача	Напруга кроку U_{kp} , В	Сила струму, який протікає через тіло людини I_h , mA
1	1		
2	2		
3	3		
...	...		
11	11		

1.4. Вимикач "Замыкание" перевести в робоче положення (вверх) при цьому загорається: сигнальна лампа місця замикання (ізолятор ЛЕП) і "бігучі вогні", які імітують розтікання струму в землі через заземлювач опори ЛЕП.

1.5. Перемикач " U_k-U_0 " з середнього положення переводиться в положення " U_k ". При цьому загорається сигнальна лампа на кривій " U_k " (синя крива на графіку в центрі стенда) і лампа силуету людини "1" (вверху панелі стенда) при віддаленні її від заземлювача на один крок.

1.6. Записати показання вольтметра і міліамперметра при цьому положенні перемикачів.

1.7. Поставити перемикач у положення "2", не змінюючи положення інших перемикачів і вимикачів. При цьому загориться друга лампа на кривій " U_k " і силует людини "2".

1.8. Записати показання вольтметра і міліамперметра.

1.9. Перемикач поставити у положення "3", потім "4" і так далі до "11", кожний раз записуючи показання вольтметра і міліамперметра. Положення "11" буде відповідати віддаленню людини від заземлювача на

відстань 21 м при кроку 0,8 м (на графіку по горизонтальній осі відкладається відстань в метрах, по вертикальній - напруга кроку)

Завдання 2.2. Дослідити характер зміни:

а) напруги дотику в залежності від місця положення людини по відношенню до заземлювача;

б) струму, який протікає через тіло людини, в залежності від дії змінної напруги дотику.

2.1. Підготувати табл. 2.2 для запису результатів вимірювань.

Таблиця 2.2 - Данні досліджень U_{∂} і I_h

№ п/п	Положення людини по відношенню до заземлювача	Напруга дотику $U_{\partial_{от}}$, В	Сила струму, який протікає через тіло людини I_h , мА
1	1		
2	2		
3	3		
...	...		
11	11		

2.2. Привести стенд в початкове положення (див. п. 1.2).

2.3. Підготувати стенд для вимірювань, виконавши п. п. 1.3 і 1.4.

2.4. Перемикач " $U_{кр}-U_{\partial_{от}}$ " із середнього положення перевести у положення " $U_{\partial_{от}}$ ". При цьому загорасться сигнальна лампа на кривій (зелена крива графіка) і лампа силуету людини "1" (внизу панелі стенда) при знаходженні людини на заземлювачі.

2.5. Записати показання вольтметра і міліамперметра.

2.6. Перемикач поставити послідовно у положення "2", "3" і так далі до "11", кожний раз записуючи покази вольтметра і міліамперметра. При перемиканні в тій же послідовності загораються сигнальні лампи з

силуєтами людини.

2.7. Після закінчення роботи відключити стенд вимикачем "Сеть" і привести його в початкове положення згідно з п.п. 1.2.

2.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому дорівнює потенціал одиничного півкульового заземлювача?
2. Дайте визначення напруги кроку. Як вона виражається математично?
3. Як визначаються коефіцієнти напруги кроку β_1 і β_2 ?
4. На якій відстані від заземлювача дія напруги кроку буде найбільшою (найменшою)?
5. Що називається напругою дотику? Як вона виражається математично?
6. Як визначаються коефіцієнти напруги дотику $\alpha_1\alpha_2$?
7. На якій відстані від заземлювача дія напруги дотику буде найбільшою (найменшою)?
8. Поясніть чому крива зміни напруги дотику з відстанню від одиничного заземлювача є дзеркальним відображенням кривої зміни потенціалу основи.
9. Заходи по зниженню небезпечних наслідків дії напруги кроку і напруги дотику.
10. Показати на графіку $U_{кр} = (U_{дот}) = f(x)$ напруги кроку (напруги дотику).
11. Розкажіть про послідовність роботи на стенді при дослідженні змін напруги кроку і напруги дотику.

Література до розділу 2

1. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
2. Правила устройства электроустановок /Минэнерго СССР. -6-е

изд., перераб. и доп - М.: Энергоатомиздат 1987. - 648 с.

3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. - М: Энергоатомиздат, 1984. - 448 с.

3. ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ РОЗТІКАННЯ СТРУМУ ПРИСТРОЇВ ЗАЗЕМЛЕННЯ, ПИТОМОГО ОПОРУ ГРУНТУ, ІЗОЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ТА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

Мета: Ознайомлення з нормуванням допустимих значень опору розтікання струму пристроїв заземлення і опору ізоляції, встановлених допустимими нормами.

Оволодіння методикою вимірювання опору розтіканню струму пристроїв заземлення, питомого опору ґрунту та ізоляції мереж і електроустановок з використанням приладів.

3.1 ПІДГОТОВКА ЗВІТУ

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту. Засвоєння теоретичного матеріалу контролюється на початку заняття за контрольними запитаннями. Без знань теорії і відсутності заготовки звіту студент не допускається до виконання лабораторної роботи.

Форма звіту повинна включати:

- титульну сторінку;
- таблиці 3.1 ... 3.3 до кожного з трьох завдань;
- електричну схему вимірювання методом амперметра-вольтметра;
- електричну схему вимірювання ізоляції мережі;
- розрахункові формули, які необхідні для виконання роботи.

Електричні схеми повинні бути виконані акуратно, з використанням олівця і лінійки.

3.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

3.2.1 Розтікання струму в землі

Замикання фазного проводу мережі на корпус будь-якої електроустановки, яка має з'єднання з землею (заземлена), супроводжується протіканням через заземлювач і через землю аварійного струму I_3 , який називається струмом замикання на землю.

На рис.3.1(1 - корпус електроустановки; 2 - заземлювач діаметром d і довжиною l ; 3 - крива розподілу потенціалів φ_k на поверхні землі; φ_k - потенціал, який виникає на корпусі електроустановки; I_3 - струм замикання на землю) показаний заземлювач, розміщений в однорідному ґрунті з питомим опором $\rho = const$. Сталість питомого опору ґрунту змушує струм замикання розтікатися в усі боки рівномірно і симетрично від заземлювача, що обумовлює наявність різниці потенціалів на поверхні землі.

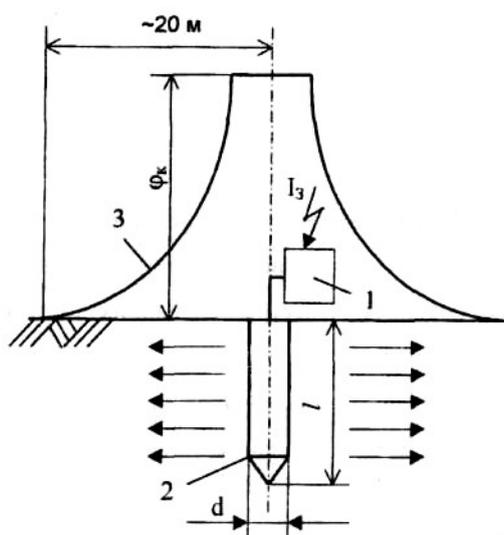


Рисунок 3.1 - Розподіл потенціалів на поверхні землі в зоні розтікання електричного струму

Пристрій заземлення 2 знижує потенціал φ_k на корпусі електроустановки 1 до значення спаду напруги на заземлювачі

$$\varphi_k = I_3 R_3, \text{ В,} \quad (3.1)$$

де R_3 - опір розтікання струму або опір захисного заземлення, Ом. Опір заземлювача 2 визначається за формулою [1] :

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} = 0,366 \frac{\rho}{l} \ln \frac{4l}{d}, \text{ Ом}, \quad (3.2)$$

На відстані 20 м від місця замикання потенціал на поверхні землі знижується настільки, що можна вважати його нульовим.

Зона землі навколо заземлювача, за межами якої електричний потенціал, обумовлений струмом замикання на землю, може бути умовно прийнятий нульовим, називається зоною розтікання електричного струму.

Висновки. 1. Виходячи з формули (3.1), величина опору захисного заземлення впливає на величину потенціалу, який виникає на корпусі електроустановки, тобто впливає на безпеку людини. Чим менший опір захисного заземлення, тим менший потенціал виникає на корпусі.

2. Виходячи з формули (3.2), опір розтіканню струму захисного заземлення залежить від геометричних розмірів заземлювача: довжини l та його діаметра d .

3.2.2 Захисне заземлення електроустановок

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою [2].

Захисне заземлення застосовується у мережах з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ, а при напрузі вище 1 кВ - з будь-яким режимом нейтралі [3].

На рис. 3.2 приведена трифазна трипровідна мережа змінного струму з ізолюваною нейтраллю, де показано принцип дії захисного заземлення.

Якщо електроустановка виявиться під напругою в результаті замикання одного з фазних проводів на її корпус, як це показано на рис. 3.2 (1,2,3 - фазні проводи мережі, 0 - нейтральна (нульова) точка джерела живлення, R_{i3} - активний опір ізоляції фазних проводів відносно землі, R_3 - опір розтіканню струму захисного заземлення (опір заземлювача), I_3 - струм

замикання на землю, $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга мережі; $U_{\text{ф}}$ - фазна напруга мережі, φ_k - потенціал на корпусі електроустановки), то потенціал, який виникне на корпусі, буде визначатися величиною спаду напруги на заземлювачі з опором R_3 (див. формулу (3.1)):

$$\varphi_k = I_3 R_3.$$

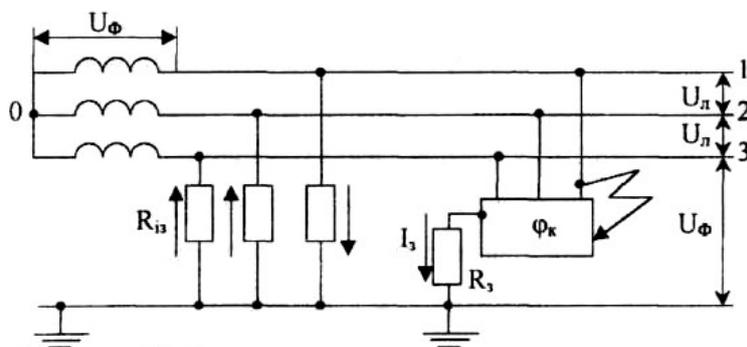


Рисунок 3.2 – Захисне заземлення електроустановки

Виходячи з того, що величина опору захисного заземлення впливає на безпеку людини, її нормують (додаток А.3).

Струмом замикання на землю називається струм, який стікає у землю через місце замикання. Для мереж, напругою до 1 кВ (рис.3.2) він визначається за формулою:

$$I_3 = \frac{U_{\text{ф}}}{R_3 + R_{\text{из}}/3}. \quad (3.2)$$

Висновок. Виходячи з формули (3.3), величина опору ізоляції фазних проводів відносно землі впливає на величину потенціалу, який виникає на корпусі електроустановки, тобто впливає на безпеку людини. Чим більший опір ізоляції фазних проводів відносно землі, тим менший потенціал виникає на корпусі.

Згідно з пунктом 1.7.40 [4] електричні мережі напругою до 1 кВ з ізолюваною нейтраллю використовуються при підвищених вимогах безпеки (пересувні електроустановки, торф'яні розробки, шахти). Для захисту людей від ураження електричним струмом у цьому випадку

використовують захисне заземлення у сполученні з контролем ізоляції мережі.

Виходячи з того, що величина опору ізоляції фазних проводів відносно землі впливає на безпеку людини, її нормують [4] : при напрузі до 1 кВ опір ізоляції розподільчих пристроїв, щитів, струмопроводів, силових і освітлювальних електропроводок повинен бути не меншим ніж 0,5 МОм.

3.2.3 Занулення електроустановок

Занулення - це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником електричної мережі металевих неструмопровідних частин електроустановки, які можуть опинитися під напругою.

Занулення використовується в електричних мережах напругою до 1 кВ з заземленою нейтраллю [3;4].

На рис. 3.3(N - нульовий провідник мережі, 4 - трифазна електроустановка, 5 - однофазна електроустановка, I_k - струм короткого замикання, R_o - опір робочого заземлення нейтралі трансформатора, R_n - опір повторного заземлення нульового проводу, R_n - активний опір нульового проводу, R_ϕ - активний опір фазного проводу, F - струмовий захист) приведена електрична схема занулення електроустановок.

Занулення перетворює будь-яке замикання на корпус електроустановки в коротке замикання мережі, струми якого достатні для спрацьовування струмового захисту F.

В таких мережах провідність ізоляції проводів відносно землі набагато менша за провідність пристрою заземлення нульової точки (R_o) джерела живлення та повторних заземлювачів (R_n), тому опори проводів відносно землі тут не враховуються.

Якщо електроустановка опиниться під напругою в результаті замикання фазного проводу на її корпус, то виникне коротке замикання і спрацює струмовий захист. До спрацьовування струмового захисту на

корпусі електроустановки буде існувати потенціал, величина якого, як і в попередньому випадку (див. формулу (3.1)), буде дорівнювати [1] :

$$\varphi_k = I_k R_H \frac{R_{II}}{R_0 + R_{II}}. \quad (3.4)$$

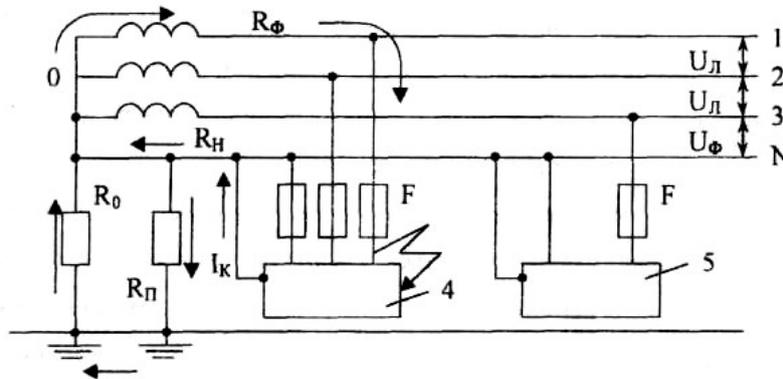


Рисунок 3.3 - Занулення електроустановок

Якщо використовується декілька повторних заземлювачів, то у формулі (3.4) замість значення R_{II} підставляється R_e , тобто еквівалентний опір декількох повторних заземлювачів.

Висновок. Величини опорів R_0 і R_{II} , що входять в формулу (3.4), впливають на величину потенціалу, який виникає на корпусі електроустановки в аварійній ситуації, тобто впливають на безпеку людини, у зв'язку з чим величини опорів R_0 і R_{II} нормуються (див додаток Б.3).

Струмний захист надійно спрацьовує, якщо виконується умова [1]:

$$I_k = k \cdot I_n, \quad (3.5)$$

де k - коефіцієнт кратності струму короткого замикання, значення якого залежить від виду захисту (запобіжники, автоматичні вимикачі);

I_n - номінальний струм плавкої вставки запобіжника або струм розчеплювача автоматичного вимикача, А.

Струм короткого замикання розраховується за формулою [1] :

$$I_k = \frac{U_\phi}{z_T/3 + z_k}, \quad (3.6)$$

де z_T , z_k - комплексні опори обмотки трансформатора і кола (петлі) "фаза-нуль", по якому тече струм короткого замикання (рис. 3.3).

Висновок. Виходячи з формули (3.6), величина опору кола "фаза-нуль", по якому тече струм короткого замикання, впливає на надійність спрацьовування струмового захисту, тобто впливає на безпеку людини.

Ця характеристика не нормується, але вимірюється при введенні лінії в експлуатацію, після ремонтів і періодично раз на п'ять років. За вимірним значенням вираховується струм короткого замикання за формулою (3.6), а потім, за формулою (3.5) перевіряється умова спрацьовування струмового захисту.

3.2.4 Контроль (вимірювання) опорів пристроїв заземлення

Конструктивно заземлювачі можуть бути виконані стержневими, коли в землю занурюються вертикальні стержні (електроди), а зверху вони з'єднуються (зварюються) горизонтальною штабою (рис. 3.4). Крім цього вони можуть бути сітчастими, коли в землю горизонтально укладається металевий кутик або круглий метал і зварюється у вигляді ґрат .

Для того, щоб уникнути сезонних коливань питомого опору землі навколо заземлювачів під час його промерзання або просихання, їх занурюють на глибину $h=0,5... 0,8$ м, як це показано на рис. 3.4.

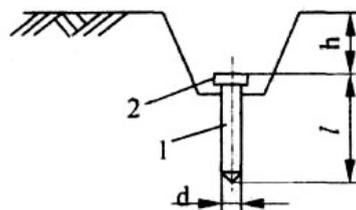


Рисунок 3.4 - Розташування вертикальних електродів 1 і горизонтальної штаби 2 у землі

На підстанціях та електростанціях вимірювання опору пристроїв заземлення і вибіркова перевірка їх стану (розкриття заземлювача для

визначення його корозійного зносу і стану контактних з'єднань) проводиться не рідше, ніж один раз у 10 років. Пристрої заземлення промислових підприємств, організацій, установ перевіряють перед вводом в експлуатацію, а потім щорічно. При цьому в один рік вимірюється опір заземлення у літню пору (просихання ґрунту), а в другий - зимою (промерзання ґрунту).

Всі прилади, призначені для вимірювання опору заземлення, питомого опору ґрунтів і активних опорів ізоляції, працюють за принципом амперметра-вольтметра, електрична схема якого показана на рис. 3.5 (З - електрод-зонд; Д - допоміжний електрод; I_B - вимірюваний струм).

Для вимірювання опору розтікання пристроїв заземлення потрібно мати два додаткових металевих електроди-заземлювачі: зонд (З) та допоміжний електрод (Д), які забивають у землю на певній відстані від вимірюваного опору R_x і між собою. Як видно з рис. 3.5, допоміжний електрод вмикається у коло амперметра для того, щоб утворити шлях вимірюваного струму I_B через вимірюваний опір R_x . При цьому на опорі R_x виникає розтікання струму. Щоб знайти величину спаду напруги на опорі R_x , використовують зонд, який вмикається у коло вольтметра і який повинен бути розташований від R_x на відстані не менше як 20 м, для того, щоб у місці його розташування, був нульовий потенціал (див. розтікання струму в землі).

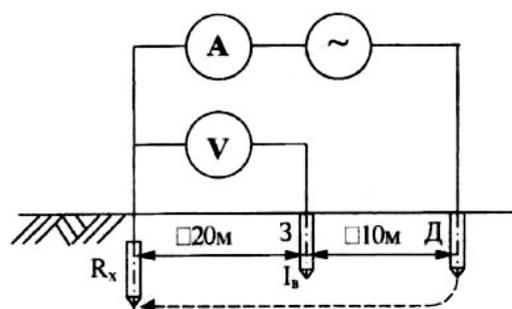


Рисунок 3.5 - Електрична схема вимірювання опору R_x методом амперметра-вольтметра

Для того, щоб вимірюваний струм не пішов через зонд, використовують вольтметри з великим внутрішнім опором. Вимірюваний опір заземлювача визначається за формулою:

$$R_X = \frac{U}{I}, \quad (3.7)$$

де U та I - показники вольтметра і амперметра.

Довжина металевих додаткових електродів повинна бути не меншою, ніж 500 мм при їх діаметрі не менше 5мм [6].

Дійсний (розрахунковий) опір заземлювача R_X визначається за формулою:

$$R_P = R_X K_C, \text{ Ом} \quad (3.8)$$

де K_C - коефіцієнт сезонності (див. додаток В.3), який враховує стан ґрунту в момент вимірювання R_X .

3.2.5 Вимірювання питомого опору ґрунту

Вимірювання питомого опору ґрунту необхідне для розрахунку заземлювачів (див. формулу (3.2)).

Метод контрольного електрода.

Для вимірювання питомого опору ґрунту застосовується той же метод амперметра-вольтметра. При цьому замість вимірюваного опору R_X використовується забитий в землю контрольний електрод (труба, стержень), заглиблений в ґрунт на передбачену глибину закладання проектного заземлювача.

Опір такого заземлювача визначається за формулою (3.2), звідки питомий опір ґрунту

$$\rho = \frac{R \cdot l}{0,366 \lg \frac{4l}{d}} = 2,73 \frac{R \cdot l}{\lg \frac{4l}{d}}, \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (3.8)$$

Схема амперметра-вольтметра, яка приведена на рис. 3.5, призначена

для вимірювання поодиноких заземлювачів. Якщо заземлювачі розташовані за контуром, то відстані між додатковими електродами і R_x змінюються, як це показано на рис. 3.6.

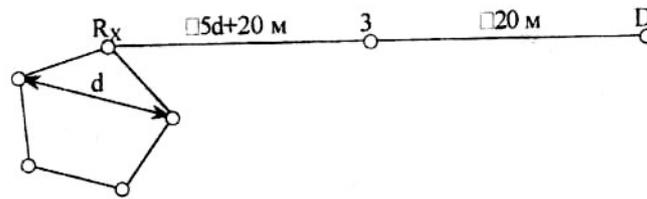


Рисунок 3.6 - Відстані між електродами при вимірюванні контурного (складного) пристрою заземлення

Існують і інші методи вимірювання питомого опору ґрунту. Вимірювання опорів заземлювачів і питомого опору ґрунту здійснюється вимірювачами опору заземлення типів МС-08, М416, Ф4103.

3.2.6 Ізоляція електроустановок

Стан ізоляції характеризують три параметри: електрична міцність, електричний опір та діелектричні втрати. Електрична міцність ізоляції визначається випробуванням на пробій підвищеною напругою, електричний опір - вимірюванням, а діелектричні витрати - спеціальними дослідженнями.

Опір ізоляції періодично вимірюється на вимкнутій електроустановці за допомогою спеціальних приладів - мегомметрів. Мегомметри М1101 випускаються на вимірювальну напругу 100, 500, 1000 В; МС-06 - на 2500 В; мегомметри Ф4102/1- на 100; 500 і 1000 В; Ф4102/2 - на 1000 та 2500 В.

З метою встановлення дефектів і пошкоджень ізоляції відбуваються її випробування: при капітальних ремонтах (К), при поточних (П) і в міжремонтний період (М). Ці випробування проводяться у терміни, які встановлені правилами [4;8].

Наприклад, вимірювання силових, освітлювальних електропроводок,

пристроїв розподілення, щитів та струмопроводів здійснюється: К - не рідше 1 разу в 3 роки; П,М - терміни встановлюються відповідальним за електрогосподарство. При цьому перераховані вище апарати та устаткування повинні випробуватися мегомметром напругою 1000 В, а їх мінімальний опір повинен бути 0,5 МОм. Ізоляція переносного електрифікованого інструмента та знижувальних трансформаторів випробується 1 раз у 6 місяців мегомметром напругою 500 В, її опір повинен бути не менше 2 МОм (для подвійної ізоляції - 7МОм).

У мережах з ізольованою нейтраллю (рис. 3.2) за допомогою мегомметра може бути виміряний опір ізоляції кожної фази відносно землі та між кожною парою фаз, як це показано на рис. 3.7 (r_A, r_B, r_C - опори ізоляції фаз відносно землі; r_{AB}, r_{AC}, r_{BC} - опори ізоляції між фазами).

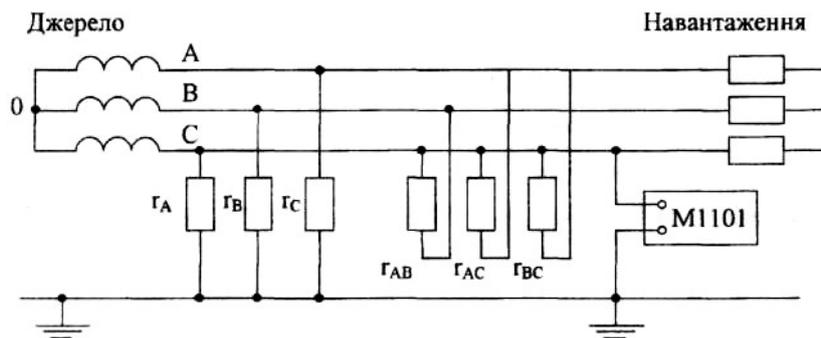


Рисунок 3.7 - Вимірювання опору ізоляції

Постійний контроль ізоляції здійснюється у мережах з ізольованою нейтраллю за рахунок використання приладів на постійному оперативному струмі або вентильних.

3.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.3.1 Лабораторний стенд і прилади

Стенд для вимірювання опору пристрою заземлення виконаний на похилій панелі з внутрішнім розведенням проводів і резисторів, які імітують опір розтіканню струму пристрою заземлення. Для з'єднання

проводів приладу існують штепсельні контакти. Принципова схема підключення відповідає схемі амперметра-вольтметра, яка показана на рис. 3.5.

Електрична схема стенда для вимірювання опору ізоляції мережі (рис 3.7) розміщена на похилій частині панелі. Виводи від мегометра приєднуються по чергово один до землі, а другий до кожної із фаз через спеціальні штепсельні контакти.

При виконанні лабораторної роботи може бути використано два прилади-вимірювачі опору заземлення або питомого опору ґрунту: МС-08 та М416.

Схеми вимірювання опору заземлення та питомого опору ґрунту приладом МС-08 показана на лабораторному стенді. У приладі МС-08 амперметр і вольтметр замінені струмовою і потенційною рамками логометра. Постійний струм, який виробляється генератором при обертанні руків'я із клемми "+" надходить на переривачі, де перетворюється у змінний, а потім подається на допоміжний і випробувальний заземлювачі. Повертаючись на переривач, він випрямлюється і через струмову рамку логометра потрапляє на клему "-" генератора.

Прилад М416 має чотири затискувачі для під'єднання вимірювального об'єкта. При вимірюванні опору заземлення або питомого опору ґрунту за схемою амперметра-вольтметра (рис. 3.5), затискувачі 1 і 2 повинні бути замкнуті перемичкою, як це показано на рис. 3.8.

У приладі М416 постійний струм від сухих елементів перетворюється у змінний електронним перетворювачем. Із землі струм потрапляє на первинну обмотку трансформатора - це основне коло струму через землю. Вторинна обмотка підімкнута до змінного каліброваного резистора (реохорда) - це допоміжне коло струму. Схема може забезпечити рівність цих струмів, що досягається зміною опору реохорда, а також напруги між його движком і затискачем допоміжного заземлювача.

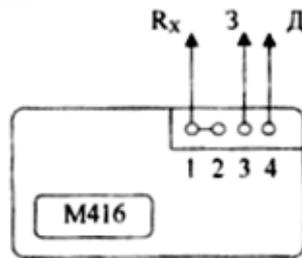


Рисунок 3.8 - Вимірювання R_x вимірювачем опору заземлення М416

Різниця напруги подається через підсилювач і випрямляч на стрілочний індикатор. Рівність струмів настає при такому положенні рухливого контакту реохорда, при якому напруга на ділянці реохорда до контакту дорівнює падінню напруги на вимірюваному опорі R_x .

Для вимірювання опору ізоляції мереж використовується мегомметр типу М1101м, який має генератор постійного струму з ручним приводом і логометр. Мегомметр може використовуватися тільки для вимірювання ізоляції мереж, які не знаходяться під напругою. Перед вимірюванням необхідно перевірити справність мегомметра.

3.3.2. Вимоги техніки безпеки

Стенд не має окремого джерела живлення і не з'єднаний з електричною мережею.

Напруга на розімкнутих зовнішніх колах приладів не перевищує: для МС-08 - 50В; для М416 - 13 В; для М1101м - 100 В.

В реальних умовах підімкнення всіх видів приладів до діючих електроустановок напругою вище 1 кВ виконується працівниками III групи з електробезпеки в діелектричних рукавичках.

Прилади всіх видів необхідно приєднувати (підключати) при відсутності живлення електроустановок.

Виконання лабораторної роботи

Завдання 3.1. Вимірювання опору пристрою заземлення розтіканню струму.

1. Підготувати табл. 3.1 для запису результатів вимірювання.
2. Забити в ґрунт допоміжний електрод і зонд відповідно до схеми, показаній на рис. 3.5 (вставити кінці з'єднувальних проводів у гнізда на стенді).

Протокол вимірювання опору пристрою заземлення

" _____ 200_ р.

Замовник _____

Марка вимірювального приладу _____

Стан погоди останніх трьох днів і в день
проведення вимірювань _____

Таблиця 3.1 - Дані вимірювань

Напруга мережі, В	Тип пристрою заземлення. Глибина закладення, довжина, діаметр заземлювача, см.	Стан ґрунту при вимірюванні	Коефіцієнт сезонності	Опір, Ом		
				Вимірний R_X	Розрахунковий R_P	Нормований R_H
Режим нейтралі джерела живлення						

ВИСНОВОК _____

Вимірювання проводили: _____

(підпис)(прізвище, ініціали) (посада)

Керівник робіт _____

3. Приєднати електроди до приладу згідно зі схемою на панелі стенда (якщо використовується прилад МС-08). При використанні приладу М416 схема приєднання електродів показана на рис. 3.8.

3.1. Використання приладу МС-08.

3.1.1 Відрегулювати прилад (зрівноважити опір потенціальної і струмової рамок). Для чого перемикач приладу поставити у положення "Регулювання", обертаючи ручку генератора з частотою біля 120 обертів за хвилину, одночасно з цим добитися (використовуючи ручку реостата регулювання) суміщення стрілки індикатора з червоною рисою на шкалі приладу.

3.1.2 Перевести перемикач у положення "Вимірювання". Прилад має три границі вимірювання: " $X \cdot 1$ ", " $X \cdot 0,1$ ", " $X \cdot 0,01$ ".

3.1.3 Виміряти опір R_X пристрою заземлення, обертаючи ручку генератора при положенні "Вимірювання" " $X \cdot 1$ " або " $X \cdot 0,1$ ", або " $X \cdot 0,01$ ", а результати вимірювання занести до табл. 3.1.

3.1.4 В залежності від заданої викладачем напруги мережі, режиму нейтралі та умов вимірювання визначити нормований опір пристрою заземлення R_H за додатками 2 або 3 і внести його значення до табл. 3.1.

3.1.5 За додатком В.3, залежно від стану ґрунту в момент вимірювання R_X , визначити коефіцієнт сезонності K_c і внести його значення до табл. 3.1.

3.1.6 Вирахувати розрахунковий опір заземлювача R_p за формулою (3.8).

3.1.7 Зробити висновок щодо відповідності розрахункового значення опору R_p нормованому R_H .

3.2 Використання приладу М416.

3.2.1 Встановити перемикач у положення "Контроль 5Ω ", натиснути кнопку і обертанням ручки "Реохорд" встановити стрілку індикатора на нульову відмітку. На шкалі реохорда при цьому повинен бути показник 5

Ом.

3.2.2 Незалежно від вибраної схеми вимірювання виконувати в такому порядку:

- а) перемикач В1 встановити у положення "X·1";
- б) натиснути кнопку і, обертаючи ручку "Реохорд", добитися максимального наближення стрілки індикатора до нуля;
- в) результат вимірювання дорівнює добутку показу шкали реохорда на множник. Якщо вимірюваний опір перевищить значення 10 Ом, перемикач встановити у положення "X5", "X20" або "X100" і перевірити наближення стрілки індикатора до нуля (повторити пункт "б").

Завдання 3.2. Вимірювання питомого опору ґрунту.

1. Підготувати табл. 3.2 для запису результатів вимірювання.

Протокол вимірювання питомого опору ґрунту

" ___ " _____ 200_р.

Замовник _____

Марка вимірювального приладу _____

Таблиця 3.2 - Дані вимірювання

Розміри заземлювача, м		Вимірний опір ґрунту R_X , Ом	Питомий опір ґрунту, Ом·м	
Діаметр d	Довжина l		За результатом вимірювання, ρ	За додатком Г.3, $\rho_{табл}$

Вимірювання проводили: _____

(підпис) (прізвище, ініціали) (посада)

Керівник робіт _____

2. Вилучити в місці розташування контрольного електрода-заземлювача рослинний і насипний шари землі.

3. Забити в землю контрольний електрод, зонд та допоміжний електрод.

4. Використання приладу МС-08. Встановити стрілку приладу на червону мітку шкали при положенні перемикача "Регулювання" так, як це робилося у завданні 3.1.

5. Перевести перемикач у положення "Вимірювання" і провести вимірювання опору ґрунту R_x , записавши результати вимірювання у табл.3.2.

6. Вирахувати питомий опір ґрунту, використовуючи формулу (3.9).

7. Використання приладу М416. Вимірювання проводити у тій самій послідовності, що і при вимірюванні опору заземлення, після чого вираховується ПИТОМИЙ опір ґрунту за формулою (3.9).

Завдання 3.3. Вимірювання опору ізоляції мережі.

1. Підготувати табл. 3.3 для запису результатів вимірювання.

Протокол вимірювання опору ізоляції мережі

" ___ " _____ 200_р.

Замовник _____

Марка вимірювального приладу _____

Робоча напруга _____

Таблиця 3.3 - Дані вимірювання

Назва устаткування або кабелів, проводів	Переріз і марка	Ізоляція, МОм					
		АО	ВО	СО	АВ	ВС	АС

ВИСНОВОК _____

Вимірювання проводили: _____

(підпис)(прізвище, ініціали) (посада)

2. Здійснити перевірку справності приладу М1101м у такій послідовності: обертати ручку генератора з швидкістю приблизно 120 обертів за хвилину при розімкнутих затискачах, при цьому стрілка повинна встановитися на відмітку " ∞ " шкали мегомів, якщо перемикач - знаходиться у положенні "М Ω ", або на відмітку "0" на тій же шкалі мегомів, якщо перемикач знаходиться у положенні "к Ω ".

3. Підімкнути мегомметр до мережі за схемою, яка показана на рис. 3.7 і по чергово виміряти опори ізоляції фаз відносно землі та міжфазну ізоляцію, заносючи дані вимірювань до табл. 3.3.

4. Зробити висновок щодо відповідності виміряного значення ізоляції нормованому.

3.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке струм замикання на землю?
2. У чому полягає фізична суть процесу стікання струму в землю?
3. Що таке зона розтікання електричного струму?
4. Як визначається величина потенціалу на корпусі електроустановки, якщо відбулося замикання струму на корпус?
5. Від яких геометричних характеристик заземлювача залежить його опір розтіканню струму?
6. Що таке захисне заземлення і де воно використовується?
7. Привести електричну схему захисного заземлення.
8. Допустимі (нормовані) значення опорів пристроїв заземлення?
9. Довести, що струм замикання на землю у мережах з ізолюваною нейтраллю залежить від опору ізоляції фаз відносно землі.
10. Коли використовуються мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ?

11. Яка мінімальна величина опору ізоляції силових і освітлювальних електропроводок напругою до 1 кВ?
12. Що таке занулення електроустановок і де воно використовується?
13. Зобразити електричну схему занулення і пояснити принцип його дії.
14. Які існують сполучення лінійних і фазних напруг у мережі з заземленою нейтраллю і відповідні їм допустимі опори заземлення нейтралей трансформаторів (додаток 3)?
15. За яким критерієм визначається надійність спрацьовування струмового захисту?
16. Вказати терміни і умови перевірки пристроїв заземлення.
17. Пояснити фізичну суть методу амперметра-вольтметра.
18. Привести схему методу амперметра-вольтметра для вимірювання опорів складних пристроїв заземлення.
19. Які параметри характеризують стан ізоляції ?

Додаток А.3

Нормовані значення опорів пристроїв заземлення [4]

Характеристика електроустановки і об'єкта заземлення	Допустимий опір R_z , Ом (не більше)
1. Електроустановка в мережі напругою понад 1кВ з ефективно заземленою нейтраллю	0,5
2. Електроустановка в мережі напругою понад 1кВ з ізольованою нейтраллю: при використанні пристрою заземлення одночасно для електроустановок напругою до 1 кВ; при використанні пристрою заземлення тільки для електроустановок напругою понад 1 кВ.	$125 / I_z$ $250 / I_z$, але не більше 10 Ом
3. Електроустановка в мережі з ізольованою нейтраллю напругою до 1 кВ: потужність генератора живлення або трансформатора більша ніж 100 кВА; потужність менша за 100 кВА.	4 10

I_3 - розрахунковий струм замикання на землю

Додаток Б.3

Допустимі опори пристроїв заземлення нейтралей трансформаторів та повторних заземлювачів нульового проводу [4]

Напруга мережі $U_{л}/U_{ф}$, В	Заземлення нейтралі трансформатора R_0 , Ом	Повторне заземлення нульового проводу, $R_{П}$, Ом	
	Еквівалентний опір з урахуванням використання природних заземлювачів та повторних заземлювачів нульовою проводу	Еквівалентний опір усіх повторних заземлювачів	у тому числі опір кожного заземлювача
660/380	2	5	15
380/220	4	10	30
220/127	8	20	60

Додаток В.3

Значення коефіцієнтів сезонності K_c [8]

Заземлювач		Глибина закладання, м					
Тип	Розміри	0,7-0,8			0,5		
		K_{C1}	K_{C2}	K_{C3}	K_{C1}	K_{C2}	K_{C3}
Горизонтальні штаби (смуги)	5м	4,3	3,6	2,9	8,0	6,2	4,4
	20 м	3,6	3,0	2,5	6,5	5,2	3,8
Сітка заземлення або контур	400 м ²	2,6	2,3	2,0	4,6	3,8	3,2
	900 м ²	2,2	2,0	1,8	3,6	3,0	2,7
	3600 м ²	1,8	1,7	1,6	3,0	2,6	2,3
Сітка заземлення або контур з вертикальними електродами	900 м ² 10 шт.	1,6	1,5	1,4	2,1	1,9	1,8
	3600 м ² 15 шт.	1,5	1,4	1,3	2,0	1,9	1,7
Поодинокий вертикальний заземлювач	2,5 м	2,0	1,75	1,5	3,8	3,0	2,3
	3,5 м	1,6	1,4	1,3	2,1	1,9	1,6
	5м	1,3	1,23	1,15	1,6	1,45	1,3

Примітка. Коефіцієнт сезонності приймається у залежності від умов вимірювання:

K_{C1} - коли вимірювання проводилися при дуже зволоженому ґрунті або моменту вимірювання передували опади у великій кількості;

K_{C2} - коли вимірювання проводилося при ґрунті середньої вологості або моменту вимірюванням передувала незначна кількість опадів;

K_{C3} - коли вимірювання проводилося при сухому ґрунті.

Додаток Г.3

Питомі опори ґрунтів, Ом-м [4]

Ґрунт	При вологості 10-12% від маси ґрунту	Можливі межі коливань	Рекомендований для розрахунку
Глина	40	8-70	60
Гравій, щебінь	-	-	2000
Кам'янистий ґрунт	-	500-8000	4000
Пісок	700	400-2500	500
Садова земля	40	30-60	50
Скалистий ґрунт	-	10^4 - 10^7	-
Суглинок	100	40-150	100
Сушісок	300	150-400	300
Торф	20	-	20
Чорнозем	200	9-53	30

Примітка. Під питомим електричним опором ґрунту розуміється опір куба ґрунту з ребром довжиною в 1 м.

Література до розділу 3

1.Правила устро́йства електроустановок (ПУЭ). -М.: Энергоатомиздат,

1985.-640 с.

2.ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения. Введен с 01.01.1977. Переиздан 01.1980. - М.: Изд-во стандартов, 1981. -6с.

3.ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Общие требования безопасности. Введен с 01.07.1982. Переиздан 12.1985. -М.: Изд-во стандартов, 1986. -9 с.

4.Ткачук К.Н., Слонченко А.В. и др. Охрана труда в приборостроении: Учеб. пособие для вузов. -К.: Вища школа, 1980. -192 с.

5.Мотуско Ф.Я. Защитные устройства в электроустановках. -М.: Энергия, 1973. -198 с.

6.Измеритель сопротивления заземления М416. Паспорт и инструкция по эксплуатации.

7.Методичні вказівки до лабораторної роботи "Вимірювання опору розтікання струму пристроїв заземлення, питомого опору ґрунту, ізоляції мереж та електроустановок" з дисципліни "Охорона праці". Укладач М.А. Клименко. -В.: ВПІ, 1992. -20 с.

8.Объём и нормы испытания электрооборудования. -М.: Энергия,

1975.-224с. 9.Мегомметры типа МІ 101м. Описание и правила пользования.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В. ЛАБОРОТОРНА РОБОТА №11

Мета роботи: дослідити електричну безпеку і основні захисні засоби від ураження електричним струмом в мережах трифазного змінного струму з глухозаземленою нейтраллю джерела живлення напругою до 1000 В.

4.1 ПІДГОТОВКА ЗВІТУ

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту.

Засвоєння теорії контролюється на початку заняття за контрольними запитаннями. Без знань теорії і відсутності форми звіту студент не допускається до виконання лабораторної роботи.

Форма звіту повинна включати:

- титульну сторінку ;
- таблиці 4.1.4 з до кожного із трьох завдань;
- електричні схеми до кожного із завдань (до кожної таблиці).

Складати електричні схеми необхідно за умовами кожного із завдань, доповнюючи приведені в теоретичних відомостях схеми елементами, які за цими умовами відсутні або виключаючи зайві елементи.

Кількість схем така:

- до завдань 4.1 і 4.2 - по одній схемі;
- до завдання 4.3 їх чотири (див. умови завдання 4.3, а також умови експерименту до табл. 4.3).

При виконанні лабораторної роботи, після відповідних вимірювань, виповнюються табл. 4.1...4.3, робляться висновки до кожного із завдань і лабораторної роботи в цілому. У висновках до третього завдання дається оцінка ефективності використання занулення і захисного заземлення в трифазних мережах з глухозаземленою нейтраллю.

4.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

4.2.1 Загальні відомості

Електробезпека - це система організаційних і технічних заходів та засобів, яка забезпечує захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Небезпека ураження електричним струмом залежить від напруги електричної мережі, виду дотику людини до електромережі, режиму

роботи електрообладнання і режиму нейтралі джерела живлення (ізолювана нейтраль, глухозаземлена нейтраль).

Вид дотику людини може бути: однофазним, коли людина торкається одного фазного проводу мережі, який знаходиться під напругою; двофазним - до двох фазних проводів одночасно.

Режим роботи електрообладнання може бути: нормальний, коли немає пошкоджень ізоляції проводів відносно землі; аварійний, коли ізоляція пошкоджена (один із проводів торкається землі або корпусу).

Правила влаштування електроустановок (ПВЕ [1]) за умовами електричної безпеки поділяють електроустановки на дві категорії: до 1 кВ і понад 1 кВ.

При напрузі до 1 кВ номінальні лінійні напруги трифазного змінного струму становлять, В: 660, 380, 220.

Крім цього, електричні мережі поділяються за кількістю струмопровідних проводів на однопроводові, двопроводові, трипроводові і чотирипроводові. Однопроводові електричні мережі мають умовний другий провід у вигляді природного або штучного провідника. Наприклад, у трамвайній електричній мережі другим проводом може бути рейка або земля. Двопроводові мережі - це лінії однофазного змінного або постійного струму. Три або чотирипроводові мережі - це трифазні лінії, конструкції яких розглядаються далі.

4.2.2 Електричні мережі трифазного змінного струму з заземленою нейтраллю

Заземленою нейтраллю називають нейтраль трансформатора, яка приєднана до пристрою заземлення безпосередньо або через малий опір.

На рис 4.1 (0_p - нульовий робочий провідник, 0_3 - нульовий захисний провідник, R_0 - опір заземлення нейтралі трансформатора, R_{II} - повторне заземлення нульового захисного провідника, U_ϕ - фазна напруга мережі)

приведена електрична схема трифазної чотирипроводової мережі з заземленою нейтраллю. Такі мережі є основними при напрузі до 1 кВ і використовуються як у побутових, так і в виробничих умовах.

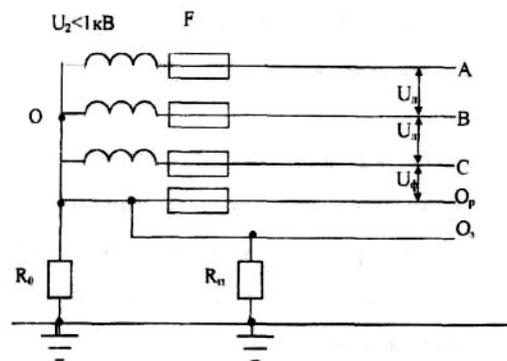


Рисунок 4.1 - Електрична схема трифазної мережі з заземленою нейтраллю

В таких мережах провідності ізоляції проводів відносно землі набагато менші за провідність пристрою заземлення нульової точки трансформатора, тому опори проводів відносно землі тут не враховуються. Нульовий робочий провідник O_p застосовується для живлення споживачів фазною напругою. Отже, в мережах з заземленою нейтраллю можна одержати дві напруги: лінійну (напруга між двома будь-якими фазними проводами) і фазну (напруга між будь-яким фазним і нульовим проводом). Залежність цих напруг така: $U_\phi = \sqrt{3}U_\phi$. Сполучення лінійних і фазних напруг (U_ϕ/U_ϕ), В: 660/380, 380/220, 220/127. Найбільш поширеною є напруга 380/220 В.

Другий нульовий провідник (O_3) виконує роль захисного, який з'єднується з корпусом електроустановки. На випадок обриву нульового захисного провідника його повторно заземлюють через кожні 250 м і обов'язково на ввіді у будівлю.

Розмежування нульового проводу на робочий і захисний повинно здійснюватися при проектуванні житлових та громадських будівель.

У виробничих умовах схеми з розмежуванням нульового провідника

виконуються дуже рідко. Практично застосовують один нульових провід, який має повторне заземлення і який виконує функції як захисного, так і робочого провідника. У цьому випадку у нульовому провіднику не повинно бути пристроїв, які роз'єднують коло: автоматичних вимикачів, запобіжників тощо.

На рисунку 4.2 (випадки 1,2 - однофазний дотик; випадок 3 - двофазний дотик) показані можливі варіанти дотику людини до електричної мережі при її нормальному режимі роботи.

Перший випадок (однофазний дотик), дотик людини до корпусу електроустановки, яка не має захисних заходів і опинилася під напругою, рівнозначний її дотику до неізолюваного фазного проводу.

Розглянемо найбільш несприятливі умови для людини, коли опорами взуття і підлоги можна знехтувати. Тоді величина струму, який тече через тіло людини, залежить від послідовно ввімкнутих опорів R_h і R_0 , але $R_h \ll R_0$, тому

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}, \text{ A} \quad (4.1)$$

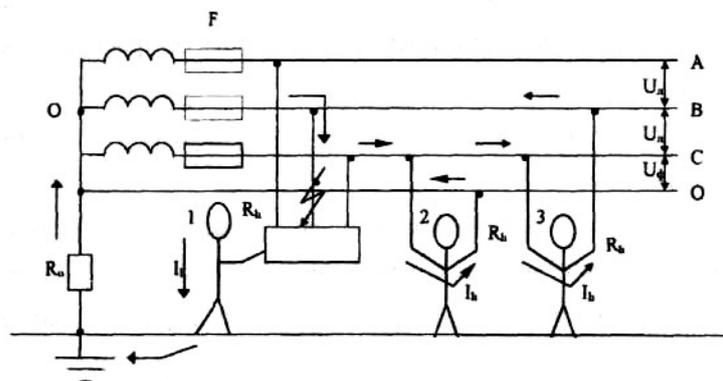


Рис 4.2. Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі

Приклад 4.1. Визначити струм, який тече через тіло людини в першому випадку. Якщо покласти, що $U_\phi = 220 \text{ В}$, а $R_h = 1000 \text{ Ом}$, то згідно з формулою (4.1) $I_h = 220/1000 = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА}$.

Такий струм (50 Гц) є дуже небезпечним для людини (див. додаток А) мри його дії більше 0,2 с, а в побутових умовах - більше 0,08 с. Зменшити величину струму, який тече через тіло людини, можна за допомогою штучного підвищення її опору діелектричними засобами (рукавиці, електроінструмент з ізольованими ручками, боти, калоші).

Випадок другий (однофазний дотик). Людина потрапляє під фазну напругу мережі, а струм, який тече через її тіло, визначається за формулою (4.1). Але зменшити струм можна лиш за допомогою діелектричних рукавичок, ізоляція людини від землі не впливає на величину струму.

Третій випадок (двофазний дотик). Людина потрапляє під повну шншну) напругу мережі, а струм, який тече через її тіло, дорівнює

$$I_h = \frac{U_n}{R_h}, \text{ А} \quad (4.2)$$

Висновки. 1. У зв'язку з тим, що ізоляція проводів відносно землі в мережах із заземленою нейтраллю не впливає на механізм ураження, її можна не контролювати, крім того, можливість одержання двох видів напруги (U_n , U_ϕ) визначає значну перевагу використання трифазних мереж із заземленою нейтраллю.

2. Двофазний дотик людини є небезпечним незалежно від режиму нейтралі мережі.

3. Однофазний дотик людини в трифазних чотирипроводових мережах з заземленою нейтраллю небезпечніший в порівнянні з мережами із ізольованою нейтраллю, тому що ізоляція проводів відносно землі не виконує тут ролі захисту.

В електроустановках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю повинно бути виконане занулення. Застосування в таких електроустановках заземлення корпусів електроприладів без їх занулення не допускається [1].

4.2.3 Занулення електроустановок

Для швидкого та надійного спрацьовування струмового захисту (запобіжників та автоматичних вимикачів) металеві частини електроустановок, які в нормальних умовах не знаходяться під напругою, з'єднуються з нульовим проводом мережі (нульовим захисним провідником), тобто здійснюють занулення електроустановок.

Занулення - це навмисне з'єднання металевих частин електроустановок, які в нормальних умовах не знаходяться під напругою, з нульовим проводом мережі (нульовим захисним провідником).

Принцип дії занулення (рис. 4.3) - перетворення будь-якого замикання на корпус електроустановки в коротке замикання мережі, струм якого достатній для спрацьовування струмового захисту (в першу чергу найближчого до місця замикання, тобто струмового захисту F1, який зображений на рис. 4.3).

Область застосування занулення - це будь-які мережі з заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ [2].

Як видно із рис. 4.3 призначення нульового проводу - забезпечення необхідної величини струму короткого замикання для спрацьовування струмового захисту за рахунок утворення для цього електричного кола з малим опором.

Вимоги до занулення

Для зменшення небезпеки у випадку обриву нульового проводу та зниження напруги на корпусі в момент короткого замикання виконують повторне заземлення нульового проводу. Повторне заземлення нульового проводу виконується на кінцях повітряних ліній довжиною більше ніж 200 м, а також на введеннях від повітряних ліній до електроустановок, які підлягають зануленню.

Опір заземлення нейтралі джерела живлення та повторного заземлення нормується ДСТ 12.1.030-81 залежно від значення напруги

джерела струму.

Загальний опір занулення повинен бути таким, щоб виконувалась умова для напруги дотику:

$$U_{\text{дот}} \leq U_{\text{гр.доп}}, \quad (4.3)$$

де $U_{\text{гр.доп}}$ - гранично допустимий рівень напруги.

З метою забезпечення надійного автоматичного відключення пошкодженої установки струм замикання повинен перевищувати номінальний струм струмового захисту:

$$I_z \geq K \cdot I_{\text{ном}}, \quad (4.4)$$

де $I_{\text{ном}}$ - номінальний струм М.С.З.;

K - коефіцієнт кратності струму:

$K = 3$ для плавких вставок;

$K = 1,4$ для автоматів з номінальним струмом до 100 А;

$K = 1,25$ для автоматів з номінальним струмом більше 100 А.

В ланцюзі нульових захисних проводів не допускається включення запобіжників та інших роз'єднувальних пристроїв. Недопустиме застосування вимикачів, які вимикають одночасно нульовий та фазний проводи.

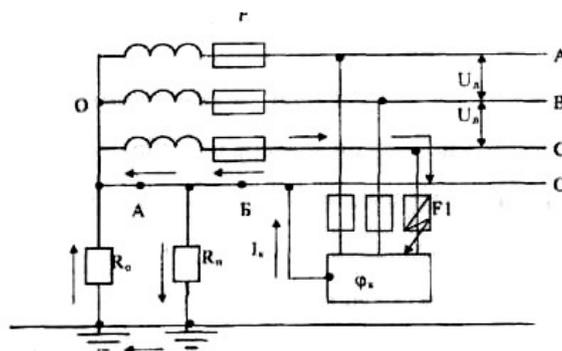


Рисунок 4.3 - Проходження струму короткого замикання I_k , при зануленні корпусу: де R - струмовий захист електроустановки.

Потенціал φ_k , який виникає на корпусі електроустановки при замиканні на корпус, визначається

$$\varphi_k = I_k \cdot R_n, \text{ В}, \quad (4.5)$$

де R_n - загальний (еквівалентних) опір нульового проводу.

Отже, повторне заземлення нульового проводу зменшує напругу на корпусах, приєднаних до нього електроустановок.

При аварійному режимі роботи, коли відбувається обрив нульового проводу в точці Б (рис. 4.3), у разі відсутності повторного заземлення, усі корпуси електроустановок за місцем обриву потрапляють під фазну напругу. Коли обрив відбувається у точці А, то потенціал, який виникає на корпусі електроустановки, визначається за формулою:

$$\varphi_k = I_k \cdot R_n, \text{ В}, \quad (4.6)$$

Висновки. 1. Повторне заземлення нульового проводу зменшує потенціал корпусу електроустановки при замиканні на нього фазного проводу за рахунок спаду напруги на опорі повторного заземлення, що приводить до зменшення напруги дотику людини.

2. Потенціал, який виникає на корпусі електроустановки при замиканні фазного проводу, не повинен перевищувати гранично допустимі напруги дотику, які приведені в додатку А, при дії струму протягом 1 с і більше: 20 В для струму частотою 50 Гц і 400 Гц у виробничих умовах; 12 В для змінного струму частотою 50 Гц у побутових умовах; 40 В для постійного струму.

3. При перевищенні гранично допустимих напруг необхідно використовувати захисне заземлення.

4.2.4 Захисне заземлення електроустановок

У мережах з заземленою нейтраллю до 1 кВ використання занулення і захисного заземлення (рис. 4.4) зменшує потенціал корпусу до безпечної величини і забезпечує швидке та надійне вимикання пошкоджених електроустановок за рахунок спрацювання струмового захисту, оскільки струм замикання I_k в цьому випадку дорівнює сумі двох складових: струму I_k' через занулення і струму через захисне заземлення I_k'' , а потенціал

корпусу:

$$\varphi_k = I_k'' \cdot R_3, \text{ В,} \quad (4.7)$$

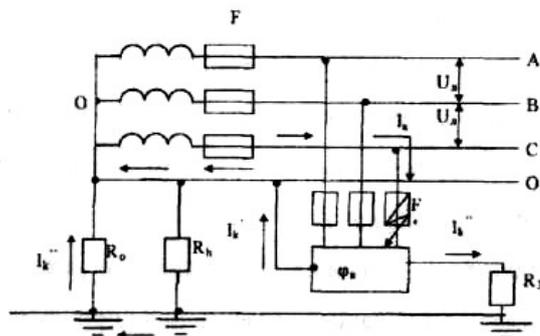


Рисунок 4.4 - Проходження струму короткого замикання I_K в мережі із заземленою нейтраллю при замиканні фазного проводу на корпус

4.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.3.1 Лабораторний стенд

Стенд виготовлений у вигляді каркасу, встановленого на столі. На лицевій панелі зображена уявна схема з набором органів керування, за допомогою яких можна моделювати необхідні умови і режим роботи трифазних мереж. При цьому висвічуються ті чи інші лінії уявної схеми і змінюються покази приладів при зміні умов виконання експерименту.

Стенд універсальний і дозволяє моделювати трифазні мережі з ізольованою і з заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі з заземленою нейтраллю фазною напругою 220 В. З метою забезпечення безпеки експлуатації стенда змінна напруга 220 В перетворена в постійну величиною 27 В.

При вмиканні стенда всі перемикачі і вимикачі повинні знаходитися у початковому положенні (вимикачі - в нижньому, а перемикачі - в лівому крайньому).

Під час подачі живлення на стенді загоряється сигнальна лампа "Сеть", на схемі висвічується первинна обмотка трансформатора. Вимикач "Устр." вмикає фазні проводи А, В, С. За допомогою вимикача " R_0 "

вмикається заземлення нульової точки вторинної обмотки трансформатора (заземлюється нейтраль трансформатора). Вимикач "0 провод" вмикає нульовий провід мережі. За допомогою вимикача "Зануление" здійснюється занулення корпусу електродвигуна. Вимикач " R_p " з'єднує повторне заземлення з нульовим проводом мережі. За допомогою вимикача " R_z " здійснюється захисне заземлення корпусу електродвигуна.

Вмиканням кнопки "Замыкание" імітується замикання однієї із фаз на корпус електроустановки. Різні величини опору тіла людини імітуються перемикачем " $R_{чел}$ ", а ізоляції фазних проводів відносно землі - перемикачами " R_a ", " R_e " і " R_c ".

Амперметр A_1 показує струм у мережі, а міліамперметр A_2 - струм, який проходить через тіло людини. Вольтметр V показує фазну напругу у мережі, а при замиканні фазного проводу на корпус - напругу дотику людини.

4.3.2 Виконання лабораторної роботи

Завдання 4.1

Дослідити характер зміни струму I_h , який тече через тіло людини належно від її опору R_h при однофазному дотику до "пробитого" корпусу електрообладнання у мережі з заземленою нейтраллю без засобів захисту. В цьому випадку занулення корпусу електродвигуна і повторне заземлення не передбачене. Дотик людини до корпусу пошкодженого електродвигуна в такому разі рівнозначний її дотику до фазного проводу (див. випадок 1 на рис. 4.2 і формулу (4.1)).

Підготувати табл.4.1 для внесення результатів вимірювання.

Таблиця 4.1 - Характер зміни струму через тіло людини I_h , залежно від її опору R_h при дотику до електрообладнання без засобів захисту

R_h , Ом	I_h , мА	U_o , В
1000		
2000		
4000		
5000		
10000		

1. Привести схему в початкове положення, поставивши всі перемикачі в крайнє ліве положення, а вимикачі - вниз.

2. Зібрати схему трифазної чотирипроводової мережі з заземленою нейтраллю. Для цього вимикач "Устр." перевести в робоче положення (вверх), заземлити вторинну обмотку трансформатора (нульову точку) вмиканням " R_0 " і ввімкнути нульовий провід мережі вимикачем "0 провід".

3. Провести імітацію пробою ізоляції на електродвигуні, підключеному до мережі, натиснувши кнопку "Замыкание". При цьому засвічується місце замикання на корпусі електродвигуна і з'являється низка "біжучих вогнів", які зображають шлях проходження струму (в даному випадку через людину, землю, опір нейтралі трансформатора R_0 і ту фазу, яка замкнула на корпус).

4. Перемикач " $R_{чел}$ ", що змінює величину опору тіла людини, поставити в положення, що відповідає розрахунковому опору тіла людини, рівному 1000 Ом.

5. Записати показання вольтметра V, який показує величину напруги дотику, і міліамперметра A_2 , який показує величину струму, що проходить через тіло людини.

6. Перемикач " $R_{чел}$ " перевести послідовно в наступні положення, кожний раз записуючи покази V і A_2 .

7. Привести схему в початкове положення.
8. Зробити висновок щодо зміни струму, який тече через тіло людини, залежно від його опору.
9. Побудувати графік залежності $I_h = f(R_h)$.

Завдання 4.2

Дослідити характер зміни струму I_h , який проходить через тіло людини залежно від його опору R_h , при дотику до "пробитого" корпусу при його зануленні, а також зміну величини струму I_0 , який протікає через нульовий і фазний проводи, при підвищеній величині опору кола "фаза-нуль", по якому тече струм короткого замикання I_k (якщо зробити нормальним опір кола "фаза-нуль", то відбудеться спрацьовування струмового захисту). У цьому випадку передбачене тільки занулення корпусу електродвигуна, без повторного заземлення нульового проводу (див. рис. 3, до якого треба дорисувати зображення людини і показати напрямок струму через її тіло).

Підготувати табл. 4.2 для внесення результатів вимірювань.

Таблиця 4.2 - Характер зміни струму I_h , що проходить через тіло людини залежно від його опору R_h , при дотику до електрообладнання при його зануленні

R_h , Ом	I_h , Ма	I_0 , А	U_0 , В	Опір кола "фаза-нуль"
1000				Більше нормативного
2000				
4000				
5000				
10 000				
5 000				Нормативний

1. Зібрати схему трифазної чотирипроводової мережі з заземленою нейтраллю. Для цього вимикач "Устр." перевести в робоче положення (вверх), заземлити нульову точку вторинної обмотки трансформатора за допомогою вимикача " R_0 " і увімкнути нульовий провід вимикачем "0 провід".

2. Занулити корпус електродвигуна, увімкнувши вимикач "Зануление" (вверх). При цьому висвічується лінія, яка з'єднує корпус з нульовим проводом.

3. Перемикач " $R_{чел}$ " поставити в положення "1".

4. Натиснути кнопку "Замыкание" і прослідкувати шлях струму короткого замикання.

5. Записати покази вольметра V (напруга дотику U_0), міліамперметра A_2 (струм I_h , який проходить через тіло людини) і амперметра A_1 , який показує у цьому разі величину струму короткого замикання, який протікає через фазний і нульовий проводи.

6. Перемикач " $R_{чел}$ " перевести послідовно в наступні положення, кожний раз записуючи показання приладів.

7. Як сказано вище, до цього моменту опір кола "фаза-нуль" ми штучно підвищили, щоб не спрацював струмовий захист. Приведемо цей параметр у норму. Для цього перемикач " $R_{чел}$ " поставимо в будь-яке положення (наприклад, 5кОм) і, увімкнувши вимикач "Шунтирующий", зменшимо опір кола "фаза-нуль" до нормативного значення. Що відбувається у даному випадку?

8. Записати покази приладів і привести схему в початкове положення.

9. Зробити висновки щодо зміни струму, який протікає через тіло людини, залежно від його опору при використанні занулення. Що змінилося у порівнянні з першим завданням ?

10. На попередньому графіку (див. пункт 9 завдання 4.1) побудувати

графік залежності $I_h = f(R_h)$, який відповідає умовам цього завдання.

Завдання 4.3

Дослідити характер зміни струму I_h , який проходить через тіло людини, при її дотику до "пробитого" корпусу при постійному опорі тіла людини ($R = 1000 \text{ Ом}$) окремо:

1) при зануленні корпусу і повторному заземленні нульового проводу (див. рис 4.3, який треба доповнити зображенням людини і показати напрямок проходження струму через її тіло);

2) при зануленні корпусу, повторному заземленні нульового проводу і захисному заземленні (рис. 4.4 треба доповнити зображенням людини, показати напрямки струмів);

3) при обриві нульового проводу в точці Б (рис. 4.3, який доповнюється зображенням обриву, людини і напрямком струму. Умови безпеки в цьому випадку рівнозначні з умовами випадку 1. Тому до цього пункту схему можна не зображати);

4) при обриві нульового проводу в точці А (рис. 4.3, який доповнюється зображенням обриву, людини і напрямками струму);

5) при використанні тільки захисного заземлення (використання такого режиму в експлуатації не дозволяється).

Перераховані вище пункти (1...5) збігаються з пунктами 1...5 табл 4.3 і з умовами 1...5 виконання завдання 4.3. Підготувати табл. 4.3 до внесення результатів вимірювань.

Умови 1:

- зібрати схему трифазної чотирипроводової мережі з заземленою нейтраллю, для чого вимикач "Устр." перевести в робоче положення (вверх);

- заземлити нульову точку вторинної обмотки трансформатора за допомогою вимикача " R_0 ";

- ввімкнути нульовий провід мережі вимикачем "0 провід";

- поставити перемикач " $R_{чел}$ " в положення "1", що відповідає розрахунковому опору тіла людини $R_h = 1000 \text{ Ом}$;

Таблиця 4.3 - Характер зміни струму I_h , що проходить через тіло людини при умовах, які визначені пунктами 1...5

Умови	I_h , мА	I_0 , А	U_{∂} , В
1. Занулення корпусу і повторне заземлення нульового проводу			
2. Занулення корпусу, його заземлення і повторне заземлення нульового проводу			
3. Обрив нульового проводу без повторного заземлення			
4. Обрив нульового проводу з повторним заземленням			
5. Захисне заземлення корпусу			

- занулити корпус електродвигуна, увімкнувши вимикач "Зануление";

- приєднати повторне заземлення до нульового проводу мережі за допомогою вимикача " R_p ";

- натиснути кнопку "Замыкание",

- записати покази приладів (амперметр A_1 показує величину струму короткого замикання, який тече через нульовий провід; міліамперметр A_2 - струм, що протікає через тіло людини; вольтметр V - напругу дотику людини);

- зробити висновок щодо зміни величини струму I_h порівняно з випадком, коли $R_h = 1000 \text{ Ом}$ із табл. 4.2.

Умови 2:

- зменшити опір повторного заземлення нульового проводу мережі, увімкнувши вимикачем " R_3 " захисне заземлення корпусу, яке вмикається паралельно опору повторного заземлення " R_p ";
- записати покази приладів;
- зробити висновки щодо зміни струму I_h , порівняно з умовами 1.

Умови 3:

- вимкнути повторне заземлення " R_p " і захисне заземлення " R_3 ";
- вимкнути нульовий провід за допомогою вимикача "0 провід", імітуючи обрив нульового проводу; записати покази приладів;
- зробити висновки щодо зміни струму I_h порівняно з випадком, коли $R_h = 1000$ Ом із табл. 4.1.

Умови 4:

- ввімкнути повторне заземлення нульового проводу, використовуючи вимикач " R_p ";
- записати покази приладів,
- зробити висновок щодо зміни струму I_h , у порівнянні з умовами 1.

Умови 5:

Зібрати схему захисного заземлення корпусу електродвигуна, для чого:

- ввімкнути "0 провід";
- вимкнути "Зануление" і " R_p " (повторне заземлення нульового проводу);
- ввімкнути опір пристрою заземлення вимикачем " R_3 ";
- записати покази приладів;

- привести схему в початкове положення;
 - зробити висновок щодо зміни струму I_h , у цьому випадку, порівняно з випадком, коли $R_h = 1000 \text{ Ом}$ із табл. 4.2;
 - зробити висновок відповідно до табл. 4.3: при яких умовах через і тіло людини проходить найбільший і найменший струм;
 - зробити висновок щодо ефективності використання в трифазних мережах з заземленою нейтраллю захисного заземлення або занулення.
- Примітка. В схемі, яка відображає умови 5, передбачена помилка замість занулення корпусу застосоване захисне заземлення.

4.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати визначення, що таке електробезпека.
2. На які категорії поділяють ПУЭ мережі за напругою?
3. Перерахувати номінальні напруги трифазного змінного струму.
4. Як поділяються електричні мережі за кількістю струмопровідних проводів?
5. Зобразити електричну схему передачі електричної енергії на значні відстані.
6. Зобразити електричну схему трифазної мережі з заземленою нейтраллю з розмежуванням нульового проводу, показати всі елементи мережі. Де такі мережі використовуються?
7. Зобразити електричні схеми однофазного дотику людини в мережі з заземленою нейтраллю, визначити величини струмів, які протікають через тіло людини.
8. Зобразити електричну схему занулення, пояснити, як воно працює.
9. Що таке занулення, його область використання і принцип дії?
10. З якою метою і як виконується повторне заземлення нульового проводу?
11. Що таке захисне заземлення, область його використання?

12. У чому полягає захисна дія заземлення?
13. Зобразити електричну схему захисного заземлення.
14. Чому в мережах з заземленою нейтраллю не можна використовувати одне захисне заземлення?
15. Вказати гранично допустимі значення струму та напруги дотику при тривалості дії струму понад 1,0 с.
16. Вказати значення розрахункового опору тіла людини.

Додаток А

Гранично допустимі сили струмів I_h та напруги дотику U_d при аварійному режимі роботи електрообладнання (витяг з ГОСТ 12.1.038-82)

Види струму	Нормативна гранична величина	Гранично допустимі напруги дотику та сили струмів при тривалості дії, с						
		0,01 0,08	0,1	0,2	0,6	0,8	1,0	Більше 1,0
Змінний 50 Гц	U_d , В	650	500	250	85	65	50	20
	I_h , мА	650	500	250	85	65	50	6
Теж 400 Гц	U_d , В	650	500	500	170	130	100	20
	I_h , мА	650	500	500	170	130	100	8
Постійний	U_d , В	650	500	400	240	220	200	40
	I_h , мА	650	500	400	240	220	200	15
У побутових електроустановках напругою до 1 кВ (50 Гц)	U_d , В	220	200	100	40	25	25	12
	I_h , мА	220	200	100	40	25	25	2

Примітки. 1. Гранично допустимі значення напруги дотику та струмів встановлені для шляхів струму "рука-рука" і "рука-нога".

2. Напруга дотику - різниця потенціалів двох точок електричного кола, яких одночасно торкається людина.

3. Сила струму, який проходить через тіло людини, є головним фактором, від якого залежить наслідок ураження. Але цей струм не є постійною величиною, він залежить від багатьох факторів: електричного опору тіла людини; тривалості дії; виду струму та його частоти, якщо він змінний; шляху проходження струму через тіло людини; індивідуальних властивостей організму.

4. Опір тіла людини електричному струму складається із зовнішнього та внутрішнього опору. Зовнішній опір обумовлений опором верхнього рогового шару (епідермісу), товщина якого складає близько 0,2 мм, але саме він визначає опір тіла людини. При сухій чистій і неушкодженій шкірі електричний опір тіла людини становить 10 ... 1000 кОм..

Якщо шкіра волога або брудна, та якщо вона має механічні ушкодження, її опір різко зменшується і становить близько 0,8... 0,9 кОм.

У зв'язку з цим, розрахункове значення опору тіла людини прийняте для найбільш несприятливих умов, а саме $R_h = 1000 \text{ Ом}$.

При аналізі умов безпеки експлуатації електричних мереж необхідно враховувати повний опір (R_{II}) тіла людини:

$$R_n = R_h + R_{\text{вз}} + R_{\text{осн}}, \text{ Ом,}$$

де $R_{\text{вз}}$ - опір взуття;

$R_{\text{осн}}$ - опір основи (підлоги), на якій стоїть людина.

Література до розділу 4

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). -М: Энергоатомиздат, 1985.-640 с.
2. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Введ. 01.07.1982. Переиздан. 12.1985. -М: Изд-во стандартов, 1985. - 9 с.
3. ГОСТ 12.2.007.0-75*. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования электробезопасности. Введ. 01.01.1978. Переиздан 12.1985. -М: Изд-во стандарта, 1985. - 17 с.

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

Мета роботи: дослідити електричну безпеку і основні захисні засоби від ураження електричним струмом в мережах трифазного змінного струму з ізолюваною нейтраллю джерела живлення напругою до 1000 В.

5.1. ПІДГОТОВКА ЗВІТУ

Вивчити теоретичний матеріал і підготувати форму звіту. Засвоєння теорії контролюється на початку заняття за контрольними запитаннями. Без знань теорії і при відсутності форми звіту студент не допускається до виконання лабораторної роботи.

Форма звіту повинна включати:

- титульну сторінку;
- таблиці 5.1...5.4 до кожного із чотирьох завдань;
- електричні схеми до кожного із завдань (до кожної таблиці).

Складати електричні схеми необхідно за умовами кожного із завдань, поповнюючи приведені в теоретичних відомостях схеми елементами, які за цими умовами відсутні або виключаючи зайві елементи. При виконанні лабораторної роботи, після відповідних вимірювань, заповнюються табл. 5.1...5.4, робляться висновки до кожного із завдань і лабораторної роботи в цілому. У висновках до третього завдання дається оцінка ефективності компенсації ємнісних струмів в трифазних мережах з ізолюваною нейтраллю.

5.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

5.2.1 Загальні відомості

Електробезпека - це система організаційних і технічних заходів та

засобів, яка забезпечує захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Небезпека ураження електричним струмом залежить від напруги електричної мережі, виду дотику людини до електромережі, режиму роботи електрообладнання і режиму нейтралі джерела живлення (ізольована нейтраль, глухозаземлена нейтраль).

Вид дотику людини може бути: однофазним, коли людина торкається одного фазного проводу мережі, який знаходиться під напругою; двофазним - до двох фазних проводів одночасно.

Режим роботи електрообладнання може бути: нормальний, коли немає пошкоджень ізоляції проводів відносно землі; аварійний, коли ізоляція пошкоджена (один із проводів торкається землі або корпусу).

Правила влаштування електроустановок (ПВЕ [1]) за умовами електричної безпеки поділяють електроустановки на дві категорії: до 1 кВ і понад 1 кВ.

Крім цього, електричні мережі поділяються за кількістю струмопровідних проводів на однопроводові, двопроводові, трипроводові і чотирипроводові. Однопроводові електричні мережі мають умовний другий провід у вигляді природного або штучного провідника. Наприклад, у трамвайній електричній мережі другим проводом може бути рейка або земля. Двопроводові мережі - це лінії однофазного змінного або постійного струму. Три або чотирипроводові мережі - це трифазні лінії, конструкції яких розглядаються далі.

5.2.2 Електричні мережі трифазного змінного струму з ізольованою нейтраллю

Ізольованою називають нейтраль трансформатора (нульова точка джерела живлення), яка не приєднана до пристрою заземлення (ізольована

від землі).

На рис. 5.1 (U_1 , U_2 - відповідно напруги первинної і вторинної обмоток трансформатора; ТП - знижувальна трансформаторна підстанція; F - струмовий захист (запобіжники або автоматичні вимикачі); 0 - нульова, (нейтральна) точка трансформатора; А, В, С - фазні проводи мережі; $U_{л}$ - лінійна напруга мережі, R_A , R_B , R_C - активні опори ізоляції фазних проводів відносно землі; X_A , X_B , X_C - реактивні опори фазних проводів відносно землі; I_A , I_B , I_C - струми витoku фазних проводів) приведена електрична схема трифазної трипроводової мережі з ізолюваною нейтраллю (відповідно до рис. 5.1, це знижувальна трансформаторна підстанція з ЛЕП, яка має напругу до 1 кВ і живить споживачів).

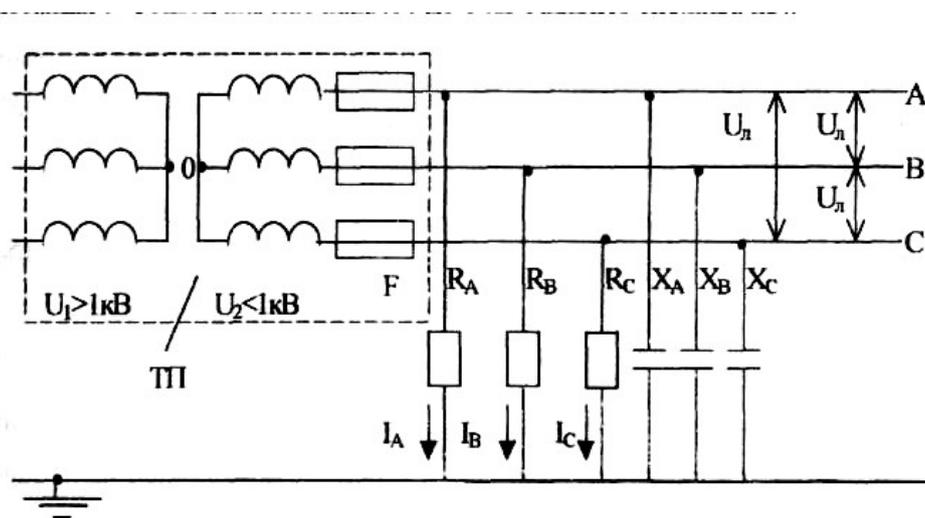


Рисунок 5.1 - Електрична схема трифазної трипроводової мережі з ізолюваною нейтраллю

Внаслідок наявності різниці потенціалів між будь-яким фазним проводом і землею протікає дуже малий струм, який називають струмом витoku. Сила цього струму залежить від опору ізоляції фазних проводів відносно землі.

Якщо розглядати електричні мережі напругою до 1 кВ, довжина яких

не перевищує 1 км, то ємністю проводів відносно землі можна знехтувати, але це знехтування стосується тільки повітряних ліній і не стосується кабельних. Крім того, якщо довжина лінії не перевищує 1 км, то можна вважати, що активні опори проводів відносно землі мають однакові значення, тобто $R_A = R_B = R_C = R_{i3}$; R_{i3} - опір ізоляції фазного проводу відносно землі.

У подальшому первинна обмотка трансформатора зображатися не буде. Дотик людини до корпусу електроустановки, яка не має захисних засобів і опинилася під напругою (відносно землі), як це показано на рис. 5 2 (перший випадок, однофазний дотик), рівнозначний її дотику до неізольованого фазного проводу. Опір тіла людини вмикається паралельно опорі ізоляції того проводу, який замкнув на корпус (до якого доторкнулася людина) і послідовно з опорами ізоляції інших проводів, а струм, який тече через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_h + R_{i3}} = \frac{\sqrt{3}U_l}{3R_h + R_{i3}}, \text{ A} \quad (5.1)$$

де R_h - опір тіла людини.

Висновки:

1. Виходячи з формули (5.1), у випадку однофазного дотику людини до трифазної мережі змінного струму з ізолюваною нейтраллю, людина знаходиться під захистом опорі ізоляції фазних проводів відносно землі. Тому в таких мережах необхідно підтримувати стан ізоляції проводів на достатньо високому рівні.

2. ПВЕ встановлюють певні нормативні вимоги щодо властивостей ізоляції. Так для силової або освітлювальної електропроводки достатнім вважається опір ізоляції не менше 0,5 МОм.

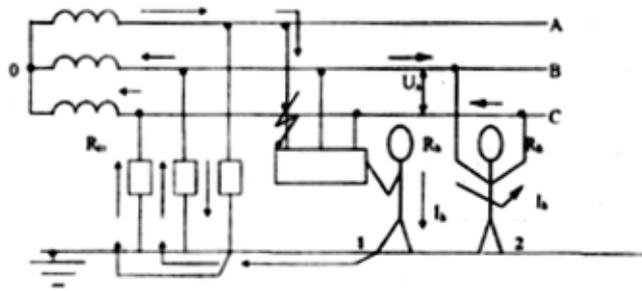


Рисунок 5.2 - Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: 1 - однофазний; 2 - двофазний дотик

Приклад 5.1. Визначити величину струму, який тече через тіло людини при однофазному дотику до мережі з ізольованою нейтраллю. Лінійна напруга мережі $U_l = 380$ В. Опір ізоляції проводів відносно землі $R_{i3} = 500 \cdot 10^3$ Ом. Розрахунковий опір тіла людини $R_h = 1000$ Ом. Згідно з формулою (5.1) одержуємо

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{(3 \cdot 1 + 500) \cdot 10^3} = 1,3 \cdot 10^{-3} = 1,3 \text{ мА.}$$

Такий струм допустимий для людини у будь-яких випадках.

При двофазному дотику (рис. 5.2, випадок 2) людина потрапляє під повну напругу мережі, а струм, який тече через тіло людини, визначається

$$I_h = \frac{U_l}{R_h}, \text{ А} \quad (5.2)$$

Висновки:

1. При двофазному дотику людини до трифазної мережі з ізольованою централлю, ізоляція проводів відносно землі втрачає свої захисні властивості і людина потрапляє під повну (лінійну) напругу мережі.

2. Зменшити величину струму, який протікає через тіло людини, можна за допомогою штучного підвищення її опору діелектричними рукавицями.

Приклад 5.2. За даними прикладу 5.1 визначити величину струму, який протікає через тіло людини при двофазному дотику до мережі трифазного струму з ізолюваною нейтраллю. Згідно з формулою (5.2) маємо:

$$I_h = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA}$$

Такий змінний струм (50 Гц) особливо небезпечний, він більше ніж у 63 рази перевищує гранично допустимий при тривалості дії більше 1,0 с.

5.2.3 Захисне заземлення електроустановок

Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою.

Область використання захисного заземлення - мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ, а при напрузі вище 1 кВ у будь-яких випадках (незалежно від режиму нейтралі) [2].

На рис. 5.3 показана електрична схема захисного заземлення, де R_3 - опір захисного заземлення; I_3 - струм замикання; φ_k - потенціал корпусу; φ_3 - потенціал землі. Як видно із рис. 5.3, опір тіла людини вмикається паралельно опорі захисного заземлення. Еквівалентний опір двох паралельних опорів дорівнює:

$$R_e = \frac{R_h \cdot R_3}{R_h + R_3}.$$

Потенціал фазного проводу, який замкнув на корпус, зменшується за рахунок спаду напруги на еквівалентному опорі, тобто

$$\varphi_k = I_3 \cdot R_e, \text{ В}, \quad (5.3)$$

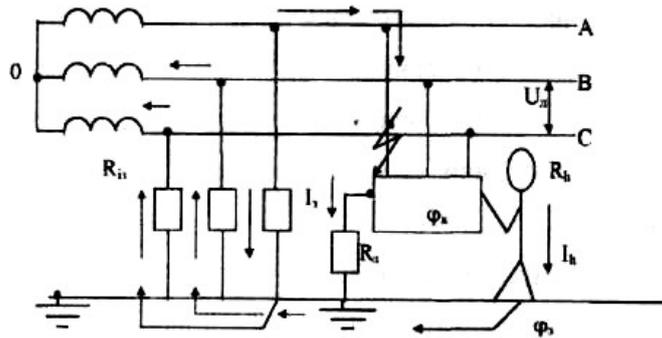


Рисунок 5.3 - Електрична схема захисного заземлення

Напруга дотику людини дорівнює різниці потенціалів

$$U_d = \varphi_k - \varphi_3, \text{ В}, \quad (5.4)$$

Якщо розглядати найбільш несприятливі умови для людини, коли $\varphi_3 = 0$, напруга дотику буде дорівнювати $U_d = \varphi_k$. Струм, який тече через тіло людини, визначається за формулою

$$I_h = \frac{U_d}{R_h} = \frac{\varphi_3}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U_n}{3R_h + R_{i3} + \frac{R_h \cdot R_{i3}}{R_3}}, \text{ А}. \quad (5.5)$$

Якщо порівняти формулу (5.5) з формулою (5.1), то можна зробити висновок, що струм, який тече через тіло людини при використанні захисного заземлення, зменшився. Покажемо це на прикладі.

Приклад 5.3. За даними прикладу визначити величину струму, який і тече через тіло людини при її дотику до корпусу електроустановки, яка має захисне заземлення і опинилася під напругою. Опір захисного заземлення $R_3 = 10 \text{ Ом}$. За формулою (5.5) одержуємо

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{(3 \cdot 1 + 500) \cdot 10^3 + \frac{(1 \cdot 500) \cdot 10^3}{10_3}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ А} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ мА}.$$

Такий струм безпечний для людини у будь-яких випадках.

Якщо порівняти цей струм із струмом однофазного дотику (приклад 5.1), то він зменшився на два порядки.

Висновок. При використанні захисного заземлення у мережах з ізольованою нейтраллю напругою до 1 кВ відбувається зменшення напруги дотику людини за рахунок спаду напруги на опорі захисного заземлення.

У зв'язку з цим, опір захисного заземлення повинен мати невелике значення: не вище 4 Ом. Але якщо потужність джерела живлення (генератора або трансформатора) 100 кВА і менше - не вище 10 Ом.

Належить звернути увагу на те, що мережі з ізольованою нейтраллю напругою до 1 кВ використовуються при підвищених умовах електробезпеки (торф'яні розробки, пересувне електрообладнання, шахти [1, п 1.7.40], тобто набагато менше мереж з заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ.

5.2.4 Електрична мережа з компенсацією ємнісних струмів витоку

Струм, що протікає через тіло людини в момент дотику її до неізольованого проводу, визначається значенням активної і ємнісної провідності ізоляції фаз.

В свою чергу, активна провідність ізоляції (активний опір) залежить від її якості і класу, які можуть бути покращені в процесі експлуатації. Ємнісна провідність (ємність мережі) в існуючій мережі залежить від конструкції (відстань фаз до землі і між фазами., діаметр проводів, кабельна чи повітряна мережа) і довжини. В процесі експлуатації змінюється ємність за рахунок включення чи відключення окремих ліній, сезонних коливань.

Процес впливу ємнісних струмів на електробезпеку мережі уявляється наочніше при полюсному замиканні на землю в струмоприймачеві (рис.5.4). На рисунку: I_c - ємнісний струм витоку; I_r - активний струм витоку; I_k - повний струм компенсуючої котушки з

індуктивністю L_0 .

Сила струму в загальному вигляді:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 [(Y_B \cdot (1 - a^2) + Y_C(1 - a) + Y_0) / (Y_a + Y_b + Y_c + Y_0 + g_3)] \quad (5.6)$$

Якщо в нейтраль трансформатора не включена компенсувальна котушка (дугогасильний реактор), то провідність нейтралі $Y = 0$, а провідності фаз рівні між собою:

$$g_a = g_b = g_c = g \quad b_a = b_b = b_c = b$$

Тоді (5.6) прийме вигляд:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 [(3g + j3b) / (3g + j3b + g_3)] \quad (5.7)$$

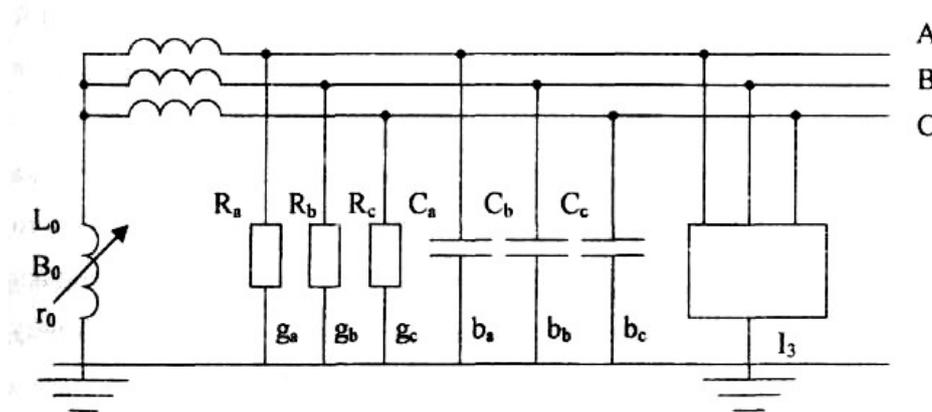


Рисунок 5.4 - Мережа, яка має компенсацію ємнісних струмів витoku В
мережах напругою більше 1 кВ активні провідності близькі до
нуля, тому

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 (j3b / (j3b + g_3)) \quad (5.8)$$

Звідси виходить, що $I_{зм}$ залежить від ємності мережі.

Включимо компенсувальну котушку в нейтраль трансформатора. Таке включення називається резонансним заземленням нейтралі через дугогасильну котушку (дугогасильна - тому, що зменшує силу струму в місці замикання за рахунок його ємнісної складової, сприяючи тим самим самогасінню дуги).

Після включення котушки нейтраль трансформатора електрично

з'єднана з землею через провідності котушки: активну g_k і індуктивну b_k . Тоді силу струму замикання на землю визначають з (5.6). Якщо прийняти провідності симетричними, тобто

$g_a = g_b = g_c = g$ і $b_a = b_b = b_c = b$, а повну провідність котушки замінити її значенням $Y_0 = g_k + jb_k$, дивись рис. 5.4, то

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 \cdot [(3g + j(3b - b_k) + g_k) / (g_k + 3g + j(3b - b_k) + g_3)] \quad (5.9)$$

Вираз (5.9) відрізняється від (5.8) на значення провідності $g_k + j(3b - b_k)$, яка з'являється при включенні котушки. В повній провідності котушки її активна складова залишається незмінною, а індуктивна може змінюватися переключенням числа витків.

Якщо підібрати таке число витків котушки, щоб її індуктивна провідність дорівнювала реактивній провідності ізоляції мережі $b_k = 3b$, то мережа стане компенсованою. Такий підбір числа витків котушки називається її настроюванням в резонанс з ємністю мережі. Сила струму замикання не залежить від ємнісної провідності мережі:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 \cdot [(3g + g_k) / (g_k + 3g + g_3)] \quad (5.10)$$

Векторна діаграма цього випадку показана на рис. 5.5 (де I_L індуктивний струм котушки, $I_{ка}$ - активний струм котушки, I_k - повний струм котушки).

Як видно з діаграми $I_{3k} < I_3$.

Застосовується компенсація ємнісних струмів при перевищенні струмів замикання на землю в мережах напругою: 6 кВ - 30А, 10 кВ - 20А, 35 кВ - 10 А.

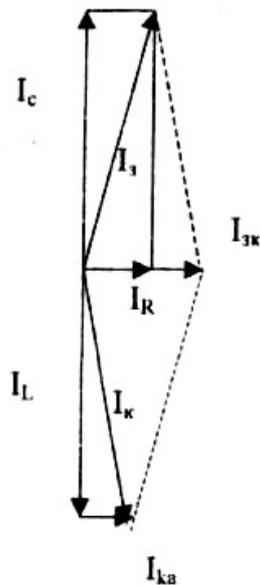


Рисунок 5.5 - Векторна діаграма струмів замикання

5.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.3.1 Лабораторний стенд

Стенд виготовлений у вигляді каркасу, встановленого на столі. На лицевій панелі зображена уявна схема з набором органів керування, за допомогою яких можна моделювати необхідні умови і режим роботи трифазних мереж. При цьому висвічуються ті чи інші лінії уявної схеми і змінюються покази приладів при зміні умов виконання експерименту.

Замість реально існуючих розподілених активних опорів і ємностей ізоляції фаз відносно землі, встановлені скупчено набори резисторів опором 1; 2; 5; 10 і 400 кОм і конденсатори ємністю 0,1 ;0,2; 0,6; 1; 1,6 мкФ. Опір тіла людини також змінюється і має значення 1; 2; 4; 5; 10 кОм.

Стенд універсальний і дозволяє моделювати трифазні мережі з ізолюваною і з заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі з заземленою нейтраллю фазною напругою 220 В. З метою забезпечення безпеки експлуатації стенда змінна напруга 220 В перетворена в постійну величиною 27 В.

При вмиканні стенда всі перемикачі і вимикачі повинні знаходитися у початковому положенні (вимикачі - в нижньому, а перемикачі - в лівому крайньому).

Під час подачі живлення на стенді загоряється сигнальна лампа "Сеть", на схемі висвічується первинна обмотка трансформатора. Вимикач "Устр." вмикає фазні проводи А, В, С. За допомогою вимикача " R_0 " вмикається заземлення нульової точки вторинної обмотки трансформатора (заземлюється нейтраль трансформатора). Вимикач "0 провод" вмикає нульовий провід мережі. За допомогою вимикача "Зануление" здійснюється занулення корпусу електродвигуна. Вимикач " R_p " з'єднує повторне заземлення з нульовим проводом мережі. За допомогою вимикача " R_3 " здійснюється захисне заземлення корпусу електродвигуна.

Вмиканням кнопки "Замыкание" імітується замикання однієї із фаз на корпус електроустановки. Різні величини опору тіла людини імітуються перемикачем " $R_{чел}$ ", а ізоляції фазних проводів відносно землі - перемикачами " R_a ", " R_b " і " R_c ".

Амперметр A_1 показує струм у мережі, а міліамперметр A_2 - струм, який проходить через тіло людини. Вольтметр V показує фазну напругу в мережі, а при замиканні фазного проводу на корпус - напругу дотику людини.

5.3.2 Виконання лабораторної роботи

Завдання 5.1. Дослідити характер зміни напруги дотику і струму, що протікає через тіло людини, в залежності від активного опору ізоляції мережі.

1. Підготувати табл. 5.1 для запису результатів вимірювань.

Таблиця 5.1

№	R , кОм	I_h , мА	$U_{дом}$, В
1	1		
2	2		
3	5		
4	10		
5	400		

2. Привести схему в початкове положення, поставивши всі перемикачі в крайнє ліве положення, а вимикачі - вниз.

3. Зібрати схему трифазної мережі з ізольованою нейтраллю. Для цього вимикач "Устр." перевести вгору. При цьому загоряється світлове "зображення мережі і індикатора лампа "Сеть".

4. Поставити перемикач " $R_{чел}$ " в положення I, яке відповідає опорові людини 1000 Ом. В цьому положенні перемикач залишається на час виконання всіх завдань з даної лабораторної роботи.

5. Натиснути кнопку "Замыкание".

6. Записати покази вольтметра V , що фіксує значення напруги дотику, і покази міліамперметра A_2 , що фіксує силу струму, який протікає через тіло людини. В початковому положенні перемикачів показання приладів відповідають активному опорові ізоляції фаз, рівному нескінченно великій величині, і ємності фаз, рівній нулю.

7. Перемикачі " r_a ", " r_b ", " r_c " перевести послідовно в положення 1; 2; 5; 10; 400 кОм, кожний раз записуючи покази приладів.

8. Привести схему і початкове положення (за винятком перемикача Завдання 5.2). Дослідити характер зміни напруги дотику і сили струму, що протікає через тіло людини, в залежності від ємності фаз мережі відносно землі.

1. Підготувати табл. 5.2 для запису результатів вимірювань.

Таблиця 5.2

№	C, мкФ	I_h , мА	$U_{дом}$, В
1	0		
2	0,1		
3	0,2		
4	0,6		
5	1,0		
6	1,6		

2. Зібрати схему згідно з п.3 завдання 5.1.

3. Натиснути кнопку "Замыкание".

4. Перемикачі " C_a ", " C_b ", " C_c " перевести послідовно в положення 0,1; 0,2; 0,6; 1,0; 1,6 мкФ, кожний раз записуючи покази вольтметра V і міліамперметра A_2 .

5. Привести схему в початкове положення (за винятком " $R_{чел}$ ")

Завдання 5.3. Визначити ефективність компенсації ємнісних струмів витоку для підвищення електробезпеки мережі.

1. Підготувати табл. 5.3 для запису результатів вимірювань.

Таблиця 5.3

№	C, мкФ	I_h , мА	$U_{дом}$, В	Примітки
1				Без компенсації
2				З компенсацією

2. Зібрати схему згідно з п. 3 завдання 5.1.

3. Поставити перемикачі " C_a ", " C_b ", " C_c " в положення 0,6 мкФ.

4. Натиснути кнопку "Замыкание".

5. Записати покази приладів V і A_2 .

6. Включити вимикач "Компенсация".

7. Записати покази приладів V і A_2 .

8. Привести схему в початкове положення (за винятком " $R_{чел}$ ").

Завдання 5.4. Визначити ефективність захисного заземлення електроустановки в мережах з ізольованою нейтраллю у випадках, коли опір розтікання струму:

а) більше нормативного;

б) відповідає нормативному.

1. Підготувати табл. 5.4 для запису результатів вимірювань.

2. Зібрати схему згідно з п. 3 завдання 5.1.

3. Поставити перемикачі " r_a ", " r_b ", " r_c " в положення 1.

4. Натиснути кнопку "Замыкание".

Таблица 5.4

№	C, мкФ	I_h , мА	$U_{дом}$, В	Примітки
1	1			
2	2			
3	5			
4	10			
5	400			
6	1			
7	2			
8	5			
9	10			
10	400			

5. Включити вимикач " r_3 ", який відповідає заземленню корпусу електрообладнання з опором розтікання струму більше нормативного.

6. Записати покази приладів V і A_2 .

7. Виключити " r_3 ".

8. Включити " r_3 ", який відповідає заземленню корпусу з опором,

рівним нормативному.

9. Записати покази приладів V і A_2 .

10. Повторити операції з пунктів 5-8 (включається послідовно " r_3 " і " r_p "), перемикаючи " r_a ", " r_b ", " r_c " в положення 2; 5; 10; 400 кОм і записуючи покази приладів і A_2 .

11. Привести схему в початкове положення.

5.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати визначення, що таке електробезпека.
2. На які категорії поділяють ПУЭ мережі за напругою?
3. Перерахувати номінальні напруги трифазного змінного струму.
4. Як поділяються електричні мережі за кількістю струмопровідних проводів?
5. Зобразити електричну схему передачі електричної енергії на значні відстані
6. Зобразити електричну схему трифазної мережі з ізольованою нейтраллю, показати всі елементи мережі.
7. Зобразити електричну схему однофазного дотику людини в мережі з ізольованою нейтраллю, показати напрямки струму, зробити висновки.
8. Зобразити електричну схему двофазного дотику людини в мережі з ізольованою нейтраллю, показати напрямки струму, зробити висновки.
9. Що таке захисне заземлення, область його використання?
10. У чому полягає захисна дія заземлення?
11. Зобразити електричну схему трифазної мережі з заземленою нейтраллю з розмежуванням нульового проводу, показати всі елементи мережі. Де такі мережі використовуються?
12. У чому суть компенсації ємнісних струмів витоку?
13. Зобразити електричні схеми однофазного дотику людини в мережі з заземленою нейтраллю, визначити величини струмів, які

протікають через тіло людини.

14. Що таке занулення, його область використання і принцип дії?

15. Зобразити електричну схему занулення та пояснити принцип роботи.

16. З якою метою і як виконується повторне заземлення нульового проводу?

17. Чому в мережах з заземленою нейтраллю не можна використовувати одне захисне заземлення?

18. Вкажіть гранично допустимі значення струму та напруги дотику при тривалості дії струму понад 1,0 с.

19. Вкажіть значення розрахункового опору тіла людини.

Література до розділу 5

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). -М.: Энергоатомиздат, 1985.-640 с.
2. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Введ. 01.07.1982. Переиздан. 12.1985. -М: Изд-во стандартов, 1985. -9 с.
3. ГОСТ 12.2.007.0-75*. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования электробезопасности. Введ. 01.01.1978. Переиздан 12.1985. -М: Изд-во стандарта, 1985. - 17 с.

Навчальне видання

Кобилянський О.В.

ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Лабораторний практикум

Частина 1

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено автором

Редактор С.А.Малішевська

Підготовлено до друку 2.07.2001.

Формат 29,7x421/4 Гарнітура Times New Roman

Друк різкофакічний Ум. друк. арк. 7.89

Тираж 75 прим.

Зам.№ 2001-131

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького державного технічного університету

21021 , м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ, ГНК, 9-й поверх