

Є.А.Бондаренко, В.А.Дрончак, Р.Я.Дупляк,
О.В.Кобилянський, О.П.Терещенко

ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Є.А.Бондаренко, В.А.Дрончак, Р.Я.Дупляк,
О.В.Кобилянський, О.П.Терещенко

ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ

Рекомендовано Вченою радою Вінницького національного технічного університету як лабораторний практикум для студентів електротехнічних спеціальностей. Протокол № 5 від 28 грудня 2006 р.

Вінниця ВНТУ 2007

УДК 658.382.3
К 55

Рецензенти:

В. Р. Сердюк, доктор технічних наук, професор

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

М.І. Довбиш, начальник інспекції Держенергонагляду у Вінницькій області

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Бондаренко Є.А., Дрончак В.А., Дупляк Р.Я.,

Кобилянський О.В., Терещенко О.П.

К55 Охорона праці в галузі: Лабораторний практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 116 с.

У лабораторному практикумі розглядаються питання з дисципліни «Охорона праці в галузі». Розглянуто сім лабораторних робіт з курсу за розділами «Основи фізіології, гігієни праці та виробничої санітарії у галузі», «Пожежна безпека у галузі».

Для кожної роботи наводяться необхідні теоретичні відомості, опис приладів та обладнання, які використовуються при дослідженні, задачі досліджень, а також методика проведення робіт. В додатках наведені нормативні вимоги для дослідження.

УДК 658.382.3

© Є.А.Бондаренко, В.А.Дрончак, Р.Я.Дупляк,
О.В.Кобилянський, О.П.Терещенко, 2007

Зміст

Вступ.	4
Основні вимоги до виконання лабораторних робіт.	5
1 Дослідження виробничих вібрацій. Лабораторна робота №3.	6
2 Експериментальне визначення температури спалаху горючих рідин у закритому тиглі. (Вимоги пожежної та вибухобезпеки до промислових підприємств). Лабораторна робота №4.	21
3 Вимірювання опору розтікання струму пристроїв заземлення, питомого опору ґрунту, ізоляції мереж та електроустановок. Лабораторна робота №8.	41
4 Дослідження електробезпеки мереж з ізольованою нейтраллю і глухозаземленою нейтраллю напругою до 1000 В. Лабораторна робота №9.	58
5 Дослідження та оцінювання електромагнітного поля на робочих місцях. Лабораторна робота №10.	79
6 Дослідження електробезпеки мереж з глухозаземленою нейтраллю напругою до 1000 В. Лабораторна робота №11.	91
7 Дослідження електробезпеки мереж з ізольованою нейтраллю напругою до 1000 В. Лабораторна робота № 12.	104

Вступ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Практично безпечних та зовсім нешкідливих умов праці на виробництві не існує і тому головною метою охорони праці є зведення до мінімуму імовірності травматизму та захворювань з одночасним забезпеченням потрібних (нормативних) умов праці.

Виробнича санітарія – це система організаційних заходів і технічних засобів, яка запобігає або зменшує дію на працюючих шкідливих виробничих факторів. Виробнича санітарія є інженерною наукою, яка розробляє заходи захисту робітників від дії шкідливих виробничих факторів.

Пожежна безпека – це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, направлених на усунення можливості виникнення пожежі, дії на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальної шкоди від неї. Небезпечними факторами пожежі можуть бути: відкритий вогонь та іскри, підвищення температури повітря, предметів, конструкцій, токсичні продукти згорання, дим, знижена концентрація кисню в повітрі, обрушення та пошкодження будівель і споруд, вибух.

Виконавши лабораторну роботу, студент повинен вміти порівняти експериментальні виміри параметрів умов праці з нормативними і зробити висновок про можливість або неможливість праці в таких умовах, а також намітити заходи та засоби для доведення їх до нормативних параметрів.

В лабораторному практикумі розглянуті лабораторні роботи, які виконуються більшістю студентів ВНТУ в окремому приміщенні.

В додатках до лабораторних робіт наведені нормативи з виробничої санітарії та пожежної безпеки, які діють на 1 січня 2007 р.

Основні вимоги до виконання лабораторних робіт

Звіт до кожної лабораторної роботи може бути оформлений окремо на стандартних аркушах формату А4, де перша сторінка повинна бути титульною і мати такий вигляд:

<p>Міністерство освіти і науки України Вінницький національний технічний університет</p> <p>Кафедра МБОПБЖ</p> <p>ЗВІТ до лабораторної роботи № з курсу “Охорона праці в галузі” <i>Назва лабораторної роботи</i></p> <p>Виконав: ст. гр. 2ТМ-97 ФМТ Бойко М.П. Дата: _____ Прийняв: _____</p> <p>Вінниця 2007</p>

На наступному аркуші вказується мета роботи і наводяться необхідні теоретичні відомості, формули і таблиці.

Звіти до лабораторних робіт можуть бути оформлені в одному зошиті, де перша сторінка повинна бути титульною, на якій пишуть:

<p>ЗВІТИ</p> <p>до лабораторних робіт з курсу “Охорона праці в галузі”</p> <p>Виконав Бойко М. П. гр. 2ТМ-97 ФМТ</p>

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

Після захисту студентом лабораторної роботи викладач повинен її підписати.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ВІБРАЦІЙ. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

МЕТА РОБОТИ: Ознайомлення з основними вібраційними характеристиками, засвоєння методики їх вимірювання та нормування, набуття навиків об'єктивного оцінювання вібронебезпеки на робочих місцях.

Для виконання вказаної мети студенту при підготовці до лабораторної роботи потрібно:

1. Вивчити теоретичні відомості за допомогою методичних вказівок та спеціальної літератури до розділу.
2. Вивчити та набути навиків застосування приладів і пристроїв.
3. Вивчити порядок проведення експерименту.
4. Дати відповіді на всі контрольні запитання.
5. Провести необхідні експерименти.
6. Оформити звіт, зробивши висновки про відповідність або невідповідність виміряних параметрів вібрації нормативним.

1.1 ПІДГОТОВКА ЗВІТУ

Звіт повинен бути зробленим в зошиті або на аркушах формату А4 та вміщувати:

1. Назву лабораторної роботи.
2. Мету роботи.
3. Короткі теоретичні відомості 1-1,5 стор.
4. Протокол експериментів (додаток А, табл. А1.1 та А1.2) з результатами досліджень.
5. Висновки з кожного вимірювання про можливість або неможливість праці в досліджених умовах.

1.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.2.1 Основні поняття

В загальному випадку вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. В охороні праці вібрацією називають механічні коливання системи (обладнання, пристрою, інструменту та ін.), які сприймаються при безпосередньому контакті людини з поверхнею, що вібрує.

Джерелом вібрації є практично кожна машина, агрегат, транспортний засіб тощо. Породжують вібрацію неврівноважені сили при

роботі зворотно-поступальних систем, обертанні неврівноважених мас, битті зубчастих передач, пульсуванні рідин та газів в порожнинах машин та трубопроводів.

Виробнича вібрація виступає як шкідливе явище відносно самих машин, оскільки інтенсифікує зношення, знижує їх надійність та довговічність, підвищує рівні випромінюваного шуму. Розповсюджуючись по конструкціях та ґрунту, вібрація впливає на інші об'єкти, викликає руйнування будівельних конструкцій, погіршує роботу приладів, точних верстатів. В разі контакту людини з поверхнями, що вібрують, виникає ряд специфічних негативних проблем - підвищення втомлюваності, зниження працездатності та якості праці, а також розвиток професійного захворювання - віброхвороби.

Дія вібрації на людину-оператора класифікується:

1. За способом передачі вібрації на людину – на загальну і локальну (місцеву);

2. За напрямком дії вібрацію поділяють на діючу уздовж 3-х осей ортогональної системи координат: X, Y, Z - коли діє загальна вібрація та X_L , Y_L , Z_L - локальна вібрація (рис. 3.1).

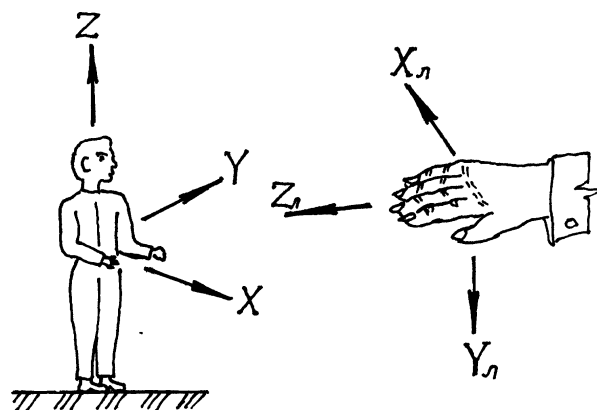


Рисунок 1.1 – Напрямок координатних осей при дії вібрації

3. За часовою характеристикою вібрацію поділяють: на постійну (коли контрольовані параметри a , V за час нагляду змінюються не більше ніж в 2 рази, тобто $\Delta L \leq 6$ дБ); непостійну (коли контрольовані параметри a , V за час нагляду змінюються більше ніж в 2 рази, тобто $\Delta L > 6$ дБ).

Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці).

Загальна вібрація за джерелом її виникнення поділяється на такі категорії:

категорія 1 – транспортна, яка діє на водіїв транспортних засобів (автомобілі, с/г машини, бульдозери та ін.);

категорія 2 – транспортно-технологічна, яка діє на операторів машин з обмеженою рухомістю по спеціально підготовлених поверхнях в

виробничих приміщеннях (вантажопідйомні крани, комбайни, електро- та автокари);

категорія 3 – типу "а" - технологічна, яка діє на операторів стаціонарних машин та обладнання або передається на робочі місця, де немає джерел вібрації;

категорія 3 – типу "в" - вібрація на робочих місцях працівників розумової праці та персоналу, який не виконує фізичну роботу.

Основними фізичними параметрами вібрації, які генеруються за гармонічним законом, є амплітуда вібропереміщення – X_m (м) та частота - f (Гц).

Похідними величинами є:

$$\text{- кругова частота - } \omega, \text{ с}^{-1} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (1.1)$$

$$\text{- віброшвидкість - } V, \text{ м/с} \quad V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_m \quad (1.2)$$

$$\text{- віброприскорення - } a, \text{ м/с}^2 \quad a = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot X_m \quad (1.3)$$

$$\text{- рівень віброшвидкості - } L_v, \text{ дБ} \quad L_v = 20 \cdot \lg V \cdot 10^6 \cdot 0.2 \quad (1.4)$$

$$\text{- рівень віброприскорення - } L_a, \text{ дБ} \quad L_a = 20 \cdot \lg a \cdot 10^6 \quad (1.5)$$

В практичній діяльності приходиться мати справу з складними полігармонійними вібраціями, коли змінюються амплітуди на різних частотах. В цьому випадку потрібно розкласти складну вібрацію на ряд гармонійних.

В гігієнічній практиці параметри вібрації вимірюють в октавних (1/1) або третиннооктавних (1/3) середньгеометричних смугах частот.

$$\text{Для октавних (1/1) смуг частот - } f_B / f_H = 2, \quad (1.6)$$

$$\text{а для третиннооктавних (1/3) - } f_B / f_H = \sqrt[3]{2} \quad (1.7)$$

де f_B , f_H - відповідно верхня та нижня межа частот. Середньгеометрична частота визначається за формулою:

$$f_{CP} = \sqrt{f_B / f_H} \quad (1.8)$$

1.2.2 Нормування вібрації

Як фактори, що впливають на ступінь та характер несприятливої дії вібрації, необхідно враховувати:

ризик появи різних патологій аж до появи професійного вібраційного захворювання;

показники фізичного навантаження та нервово-емоційної напруги;

вплив супутніх факторів, що посилюють дію вібрації (охолодження, вологість, шум, хімічні речовини та ін.);

тривалість та уривчастість дії вібрації;

тривалість робочої зміни.

Показники вібраційного навантаження на оператора такі:

віброприскорення (віброшвидкість);

діапазон частот;
час дії вібрації.

При оцінюванні вібраційного навантаження на оператора потрібно віддавати перевагу віброприскоренню.

Нормований діапазон середньгеометричних частот встановлюється:
для локальних вібрацій у вигляді октавних (1/1) смуг в межах від 1 до 1000 Гц;

для загальних вібрацій у вигляді октавних (1/1) та третьооктавних (1/3) смуг в межах від 0,8 до 80 Гц.

Час дії вібрації приймають рівним тривалості безупинного або сумарного впливу, виміряного в хвиликах або годинах.

Нормовану оцінку вібрації за допомогою [3] роблять за одним з таких методів:

- одночисловими параметрами (коректоване за частотою значення контрольованого параметра, доза вібрації, еквівалентне коректоване значення контрольованого параметра);

- спектром вібрації.

Для постійної вібрації в основному використовують спектр вібрації, а для непостійної - дозу вібрації.

В таблицях А1.3–А1.7 норма вібраційного навантаження оператора встановлена для 8 годин (480 хв.) змінної праці.

В тих випадках, коли тривалість дії нормованого параметра менша, ніж 480 хвилин, то нормований параметр ($U_t = a_t$ або $U_t = V_t$) визначають за допомогою формули:

$$U_t = U_{480} \sqrt{480/t}, \quad (1.9)$$

де $U_{480} = U_N$ - допустиме значення нормованого параметра при тривалості дії вібрації 480 хвилин [3];

t - сумарний час дії вібрації за зміну, хв.

Коли $t < 30$ хв., то треба прийняти $t = 30$ хв.

Обмеження часу дії вібрації повинно здійснюватись шляхом встановлення внутрішньозмінного режиму праці. Режим праці повинен встановлюватись при показнику перевищення вібраційного навантаження на оператора не менше 1 дБ, але не більше 12 дБ.

Показник перевищення вібраційного навантаження на оператора визначають за формулою:

$$\Delta L_a = L_{at} - L_{an} \quad (1.10)$$

де L_{at} - значення спектрального показника вібраційного навантаження на оператора в конкретних виробничих умовах, дБ;

L_{an} - санітарна норма для конкретних умов праці, коли тривалість робочої зміни 8 годин, дБ [3].

Якщо показник перевищення $\Delta L_a > 12$ дБ, то забороняється проводити роботи, а також застосовувати машини, що генерують такі вібрації.

Рациональна організація праці за зміну повинна передбачати:

- тривалість робочої зміни не більше 8 годин [3];
- встановлення 2-х регламентованих перерв (тривалістю 20 хвилин через 1-2 години після початку зміни та тривалістю 30 хвилин через 2 години після обідньої перерви);
- обідню перерву тривалістю не менше 40 хвилин приблизно в середині зміни [1, 3, 4].

Регламентовані перерви повинні використовуватися для активного відпочинку та лікувально-профілактичних заходів і процедур.

1.4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

1.4.1 Прилади та пристосування

Лабораторна установка (рис.1.2) складається із вібростенда 1, на столі якого встановлено віброперетворювач 3, вібровимірювального приладу 4 (ВИП-2), блока живлення 5, осцилографа 16 (СІ-67) та вимірювального мікроскопа 18.

Параметри коливань стола 2 вібростенда 1 можливо виміряти за допомогою таких приладів: вимірювального мікроскопа 18 (X_m), вібровимірювального приладу (ВИП-2) 4 (X_m, V) та частотомира 19.

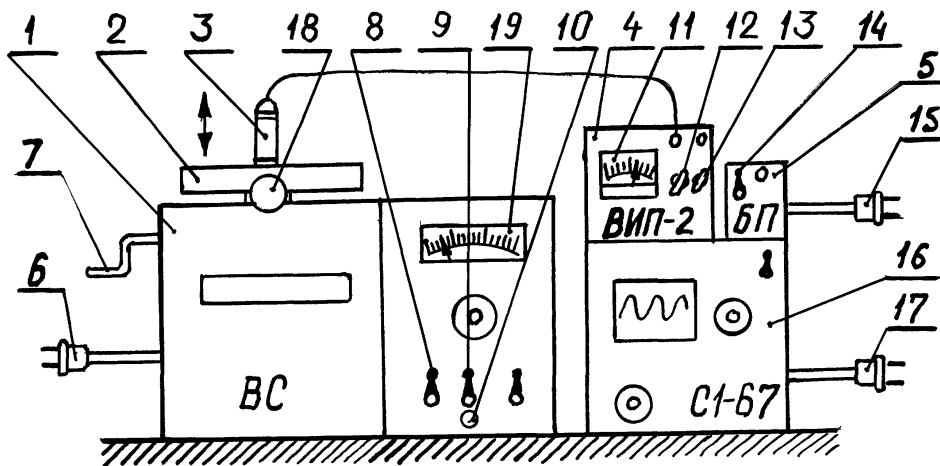


Рисунок 1.2 – Стенд для дослідження вібрацій

Визначення форми, частоти та амплітуди коливального процесу за допомогою осцилографа 16 треба проводити у відповідності з інструкцією до нього.

Якщо потрібно змінити амплітуду коливань стола 2, то тоді крутять за ручку 7 в напрямку, вказаному на таблиці вібростенда 1.

Зміна частоти коливань проводиться ручкою 10.

За допомогою штепселів 6, 15 та 17 подається напруга 220 В для роботи стенда та всіх приладів.

В лабораторній роботі умовно приймають, що поверхня коливань стола 2 вібростенда 1 сприймається як поверхня, де "стоїть" оператор або "торкається її руками".

Для зміни амплітуди коливань стола 2 передбачена ручка 7.

Прилад 4 має шкалу 11, на якій можна зняти показання $(2X_m)'$ або V' при перемиканні ручок 12 та 13. Для живлення постійним струмом приладу ВИП-2 потрібно ввімкнути тумблер 14. Для пуску вібростенда 1 потрібно ввімкнути тумблери 8 та 9 і повільно крутити ручку 10, збільшуючи частоту коливань стола 2.

Для роботи з вимірювальним мікроскопом 18 потрібно його встановити і закріпити на кронштейні вібростенда під наглядом викладача.

1.4.2 Вимоги безпеки

1. Приступати до виконання лабораторної роботи дозволяється студентам, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та перевірку знань з підготовки до роботи.

2. Перед вмиканням вібростенда необхідно зняти ручку 7 регулювання амплітуди коливань стола та перевірити закріплення віброперетворювача.

3. Вмикання вібростенда, приладу ВИП-2, блока живлення та осцилографа проводити тільки в присутності викладача з дотриманням правил безпеки.

4. Забороняється торкатися руками стола вібростенда, який коливається.

1.4.3 Проведення експерименту

При проведенні експерименту потрібно зробити вимірювання параметрів загальної та локальної вібрації, частоту і амплітуду яких задає викладач на стенді. Напрямок дії та тривалість вібрації також задає викладач, а студент вносить їх в таблицю А1.2.

Вимірювання параметрів вібрації за допомогою мікроскопа проводити в такому порядку:

1. Сфокусувати окуляр мікроскопа на риску нерухомого стола 2 і визначити число поділок P_r (рис.1.3а), записавши в таблицю А1.1.

В залежності від довжини тубуса мікроскопа записати в таблицю А1.1 ціну поділки шкали С (на лицевій поверхні вібростенда закріплена тарувальна таблиця), з допомогою таблиці 1.1.

2. Ввімкнути вібростенд 1 і встановити вказану викладачем частоту коливань стола 2 за частотоміром 19 для загальної та локальної вібрації.

Таблиця 1.1 - Тарувальна ціна поділки на мікроскопі

Довжина тубуса, мм	130	140	150	160	170	180	190
Ціна поділки "С" шкали, мм/под.	0,058	0,053	0,049	0,045	0,041	0,038	0,036

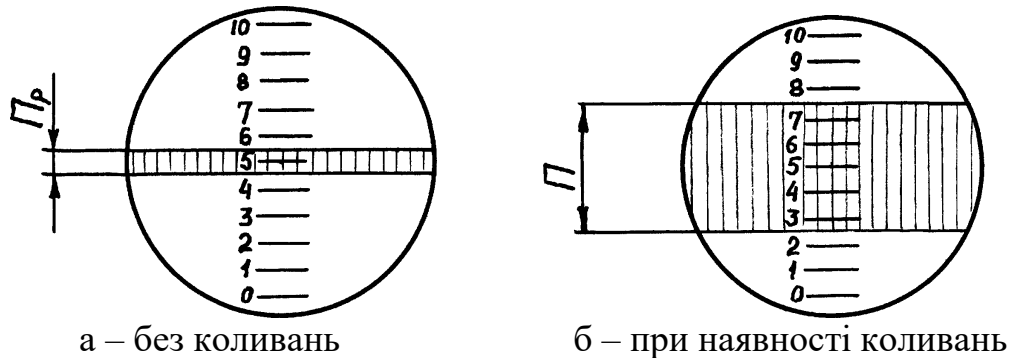


Рисунок 1.3 – Окуляр мікроскопа

3. Провести відлік числа позначок Π розмаху вібропереміщення за допомогою окуляра мікроскопа (рис.1.3б), записавши в таблицю А1.1.

Вимірювання параметрів вібрації за допомогою приладу ВІП-2 проводять в такій послідовності:

1. Ввімкнути тумблер 14 на блоці живлення 5 і подати напругу $U = 4,5 - 6$ В на прилад 4.

2. Перемикач 12 встановити в положення "100/1000".

3. Перемикач 13 встановити на "контроль питания" і переконатися в тому, що стрілка шкали 11 знаходиться в діапазоні, окресленому товстою лінією.

4. Потім перемикач 13 ставлять на вимірювання віброшвидкості " $\frac{mm}{s}$ " або розмаху коливань " μm " і повільно збільшують ручкою 10 частоту коливань стола 2. В цьому випадку потрібно слідкувати за тим, щоб не зашкалювала стрілка приладу, а розмах (подвійна амплітуда – $(2X_m)'$) вібропереміщень не перевищував 1 мм.

1.4.4 Обробка результатів експерименту

При використанні мікроскопа обробка проводиться в послідовності:

1. Визначають:

а) амплітуду коливань, м

$$X_m = 0.5 \cdot 10^{-3} \cdot C(\Pi - \Pi_p), \quad (1.11)$$

де С - тарувальна ціна поділки на мікроскопі (табл.1.1);

б) віброприскорення, м/с²

$$a = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot X_m; \quad (1.12)$$

в) рівень віброприскорення, дБ

$$L_a = 20 \lg a \cdot 10^6. \quad (1.13)$$

2. Обчислені значення вносять до таблиць А1.1 та А1.2.

При використанні приладу ВІП-2 обробка проводиться в послідовності:

1. Визначають:

а) амплітуду коливань, м

$$X_m = 1.67 \cdot 10^{-7} \cdot (2X_m) \cdot K_X; \quad (1.14)$$

б) віброшвидкість, м/с

$$V = 10^{-2} \cdot V' \cdot K_V; \quad (1.15)$$

в) частоту коливань, Гц

$$f = \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot X_m}; \quad (1.16)$$

г) віброприскорення, м/с

$$a = 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot X_m \approx 40 \cdot f^2 \cdot X_m; \quad (1.17)$$

д) рівень віброприскорення, дБ

$$L_a = 20 \lg a \cdot 10^6. \quad (1.18)$$

2. Обчислені значення вносять до таблиць А1.1 та А1.2.

Визначення нормованих параметрів вібрації з урахуванням тривалості дії проводиться в послідовності:

1. Визначають:

а) середньгеометричну частоту $f_{сг}$ в октавних смугах в залежності від вимірної частоти f за допомогою табл.1.2, розраховуючи, що $f_{сг}$ знаходиться в межах між f_H та f_B ;

Таблиця 1.2 - Визначення середньгеометричних стандартизованих частот

f_H , Гц	0,7	1,4	2,8	5,6	11,2	22,5	45,0	90	180	360	720
f_B , Гц	1,4	2,8	5,6	11,2	22,5	45,0	90,0	180	360	720	1440
$f_{сг}$, Гц	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5	63	125	250	500	1000

б) віброприскорення a_n та його рівень $L_{ан}$ за допомогою таблиць

A1.3-A1.6 в залежності від виду та категорії вимірюваної вібрації;

в) поправку на нормований параметр $\sqrt{480/t}$ (1.19)

г) віброприскорення $a_t = a_{an} \sqrt{480/t}$ (1.20)

д) рівень віброприскорення $L_{at} = 20 \lg a_t \cdot 10^6$ (1.21)

2. Обчислені значення вносять до таблиці результатів дослідження і роблять письмові висновки.

1.5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке вібрація в охороні праці?
2. Якими параметрами характеризується вібрація?
3. Як класифікується вібрація?
4. Що таке октава та як визначити її межі, якщо відома f_{cr} ?
5. Як нормується вібрація?
6. Визначте нормовані параметри (L_{at}) загальної вібрації в напрямку X категорії 1 для $f_{cr} = 16$ Гц для 2-х випадків, коли $t_1 = 20$ хв. і $t_2 = 120$ хв.
7. Який допустимий рівень віброприскорення L_{at} , коли тривалість дії вібрації $t_1 = 120$ хв., а при $t = 480$ хв. відповідно $L_{an} = 100$ дБ?
8. Яку величину допустимого рівня віброприскорення локальної вібрації тривалістю $t=120$ хв., можна визначити за допомогою одночислових показників?
9. Якими приладами можна виміряти вібрацію?
10. В якому випадку забороняється проведення віброробіт, а також застосування вібромашини?

ЛІТЕРАТУРА

1. Е.Я.Юдин, С.В.Белов (ред.). Охрана труда в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1983. - 432 с.
2. С.В.Белов (ред.). Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование. Справочник. - М.: Машиностроение, 1989.
3. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. - М., 1990.
4. В.А.Ивович, В.Я.Онищенко. Защита от вибрации в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1990.

Додаток А

Таблиця А1.1 – Результати вимірювань параметрів вібрації

Вид вібрації	ПРИЛАДИ									
	Мікроскоп та частомір					ВИП-2				
	Частота f, Гц	Товщина риски P _p , под.	Розмах коливань П, под.	Ціна по- ділки шкали С мм/под	Амплітуда коливань X _m , м	Показання шкали приладу		Амплітуда, X _m , м	Значення шкали на перемикачі 12 за:	
$\frac{mm}{s}$, мм/с						μk , МКМ	вібро- швид- кістю		Амплі- тудою коли- вань	
Загальна										
Локальна										

Таблиця А1.2 – Обробка результатів вимірювання

Вид вібрації	Нап- рямок дії вібра- ції	Трива- лість дії вібрації за зміну, t, хв.	Поправка $\sqrt{\frac{480}{t}}$	Значення параметрів вібрації							
				вимірюваних приладами				допустимих, при тривалості дії			
				f, Гц	X _m , м	a, м/с ²	L _a , дБ	f _{ст} , Гц	a _n , м/с	L _{ан} , дБ	a _t , м/с ²
Загальна											
Локальна											

Висновки щодо дії кожного виду вібрацій:

1. _____

2. _____

Таблиця А1.3 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора. Загальна вібрація, категорія 1 (транспортна). Тривалість дії вібрації 8 годин

f _{ст} , Гц	Нормативні значення в напрямках X, Y, Z							
	віброприскорення a _н , м/с ²				рівня віброприскорення L _{ан} , дБ			
	в 1/3 окт.		в 1/1 окт.		в 1/3 окт.		в 1/1 окт.	
	Z	X, Y	Z	X, Y	Z	X, Y	Z	X, Y
0,8	0,71	0,224			117	107		
1,0	0,63	0,224	1,10	0,39	116	107	121	112
1,2	0,56	0,224			115	107		
1,6	0,50	0,224			114	107		
2,0	0,45	0,224	0,79	0,42	113	107	118	113
2,5	0,40	0,280			112	109		
3,15	0,355	0,365			111	111		
4,0	0,315	0,450	0,57	0,8	110	113	115	118
5,0	0,315	0,56			110	115		
6,3	0,315	0,710			110	117		
8,0	0,315	0,90	0,6	1,62	110	119	116	124
10,0	0,40	1,12			112	121		
12,5	0,50	1,40			114	123		
16,0	0,63	1,80	1,13	3,2	116	125	121	130
20,0	0,80	2,24			118	127		
25,0	1,0	2,80			120	129		
31,5	1,25	3,55	2,25	6,4	122	131	127	136
40,0	1,60	4,50			124	131		
50,0	2,0	5,60			126	135		
63,0	2,5	7,10	4,5	12,8	128	137	131	142
80,0	3,15	9,0			130	139		

Таблиця А1.4 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора. Загальна вібрація, категорія 2 (транспортно-технологічна). Тривалість дії вібрації 8 годин

f _{сг} , Гц	Нормативні значення в напрямках X, Y, Z							
	віброприскорення				віброшвидкості			
	a _н , м/с ²		L _{ан} , дБ		V _н , м/с		L _{вн} , дБ	
	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.
1,6	0,25		108		2,48		114	
2,0	0,224	0,40	107	112	1,79	3,5	111	117
2,5	0,20		106		1,28		108	
3,15	0,178		105		0,9		105	
4,0	0,158	0,285	104	109	0,62	1,3	102	108
5,0	0,158		104		0,50		100	
6,3	0,158		104		0,40		98	
8,0	0,158	0,30	104	110	0,32	0,63	96	102
10,0	0,20		106		0,32		96	
12,5	0,25		108		0,32		96	
16,0	0,315	0,57	110	115	0,32	0,56	96	101
20,0	0,40		112		0,32		96	
25,0	0,50		114		0,32		96	
31,5	0,63	1,13	116	121	0,32	0,56	96	101
40,0	0,80		118		0,32		96	
50,0	1,00		120		0,32		96	
63,0	1,25	2,25	122	127	0,32	0,56	96	101
80,0	1,60		124		0,32		96	

Таблиця А1.5 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора. Загальна вібрація, категорія 3. Тривалість дії вібрації 8 годин

f _{сг} , Гц	Нормативні значення в напрямках X, Y, Z															
	тип "а"								тип "в"							
	віброприскорення				віброшвидкості				віброприскорення				віброшвидкості			
	a _н , м/с ²		L _{ан} , дБ		V _н *10 ⁻² , м/с		L _{вн} , дБ		a _н , м/с ²		L _{ан} , дБ		V _н *10 ⁻² , м/с		L _{вн} , дБ	
	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.	в 1/3 окт.	в 1/1 окт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1,6	0,09		99		0,90		105		0,0125		82		0,13		88	
2,0	0,08	0,14	98	103	0,64	1,3	102	108	0,0112	0,02	81	86	0,09	0,18	85	91
2,5	0,071		97		0,46		99		0,01		80		0,063		82	
3,15	0,063		96		0,32		96		0,009		79		0,045		79	
4,0	0,056	0,10	95	100	0,23	0,45	93	99	0,008	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82
5,0	0,056		95		0,18		91		0,008		78		0,025		74	
6,3	0,056		95		0,14		89		0,008		78		0,02		72	
8,0	0,056	0,11	95	101	0,12	0,22	87	93	0,008	0,014	78	83	0,016	0,032	70	75
10,0	0,071		97		0,12		87		0,01		80		0,016		70	
12,5	0,090		99		0,12		87		0,0125		82		0,016		70	
16,0	0,112	0,20	101	106	0,12	0,20	87	92	0,016	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,140		103		0,12		87		0,02		86		0,016		70	

Продовження таблиці А1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
25,0	0,18		105		0,12		87		0,025		88		0,016		70	
31,5	0,22	0,40	107	112	0,12	0,20	87	92	0,032	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75
40,0	0,285		109		0,12		87		0,04		92		0,016		70	
50,0	0,355		111		0,12		87		0,05		94		0,016		70	
63,0	0,445	0,80	113	118	0,12	0,20	87	92	0,063	0,112	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,56		115		0,12		87		0,08		98		0,016		70	

Таблиця А1.6 – Санітарні норми спектральних показників вібраційного навантаження на оператора. Локальна вібрація. Тривалість дії вібрації 8 годин

f _{сг} , Гц	Нормативні значення в напрямках X, Y, Z			
	віброприскорення		віброшвидкості	
	м/с ²	дБ	м/с	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,7	129	1,4	109
63	5,4	135	1,4	109
125	10,7	141	1,4	109
250	21,3	147	1,4	109
500	42,5	153	1,4	109
1000	85,0	159	1,4	109

Таблиця А1.7 – Санітарні норми одночислових показників вібраційного навантаження на оператора при тривалості зміни 8 годин

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Нормативні, коректовані за частотою та еквівалентні коректовані значення			
			віброприскорення		віброшвидкості	
			a _н , м/с ²	L _{ан} , дБ	V _н * 10 ⁻² , м/с	L _{вн} , дБ
Локальна	-	X _л , Y _л , Z _л	2,0	126	2,0	112
Загальна	1	Z	0,56	115	1,1	107
	1	X, Y	0,40	112	3,2	116
	2	X, Y, Z	0,28	109	0,56	101
	3 тип "а"	X, Y, Z	0,10	100	0,20	92
	3 тип "в"	X, Y, Z	0,014	83	0,028	75

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СПАЛАХУ ГОРЮЧИХ РІДИН У ЗАКРИТОМУ ТИГЕЛІ. (ВИМОГИ ПОЖЕЖНОЇ ТА ВИБУХОБЕЗПЕКИ ДО ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ). ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

МЕТА РОБОТИ:Засвоєння вимог пожежної та вибухобезпеки до промислових підприємств і споруд, генпланів селищ, а також знайомство з експериментальним методом визначення температури спалаху рідин.

2.1 ПІДГОТОВКА ЗВІТУ

Вивчення теоретичного матеріалу за темою роботи (контролюється на початку заняття перевіркою знання матеріалу відповідями на контрольні запитання).

Експериментальне визначення температури спалаху горючої рідини у закритому тигелі.

Виконання завдань за варіантом, який видається викладачем.

Підготовка звітної документації (протоколу з даними експерименту - п.4.5) та захист роботи в цілому.

2.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.2.1 Процес горіння

Горіння - фізико-хімічний процес окислення, що супроводжується виділенням теплоти і випромінюванням світла.

Для процесу горіння у звичайних умовах повинна бути речовина, здатна горіти, джерело вогню з певною здатністю надати необхідну енергію горінню і певна кількість кисню. При зниженні концентрації кисню у повітрі інтенсивність горіння різко зменшується, а при концентрації його у повітрі до 8-10%, горіння може повністю припинитися.

Горіння буде повним при надмірній кількості кисню у повітрі, при цьому утворюються двооксид вуглецю, вода, азот, сірчаний ангідрид. Горіння буде неповним при недостатній кількості кисню; при цьому утворюються оксид вуглецю, спирти, альдегіди та ін.

Горіння буває дифузійне і кінетичне. Якщо кисень проникає в зону горіння, таке горіння називають дифузійним. Дифузійне горіння найбільш поширене, воно виникає і під час пожежі. Кінетичним називають горіння заздалегідь підготовленої горючої суміші.

Процеси горіння різних речовин, а також речовин у різних станах мають багато розбіжностей. Показники, які описують пожежну небезпеку різних речовин і матеріалів, наведені у таблиці Б1.10.

При введенні певного імпульсу теплоти в зону горіння твердих речовин, холодне горюче середовище нагрівається, внаслідок чого виникає інтенсивне окислення горючої речовини киснем і додаткове виділення теплоти. Це, в свою чергу, приводить до нагрівання сусіднього шару горючої речовини, в якому також буде інтенсивно відбуватися хімічна реакція. Таким чином, відбувається переміщення зони горіння в більш глибокі шари речовини. Швидкість такого переміщення і пояснює інтенсивність горіння. Такий процес буде продовжуватися безперервно, поки не вичерпається весь об'єм горючої речовини. Зону, в якій підігрівається речовина і проходять хімічні реакції, називають фронтом полум'я.

Суміш парів, газів, пилу горючої речовини з повітрям здатна горіти лише при певному вмісті в ній горючої речовини. Найменшу концентрацію горючої речовини (газу, пилу), при якій уже можливе горіння, називають нижньою концентраційною межею спалаху (НКМС). Найбільшу концентрацію таких речовин, при якій ще можливе горіння, називають верхньою концентраційною межею спалаху (ВКМС). Зону, яка розміщена між ними, називають зоною спалаху.

Процес горіння виникає через такі початкові види горіння, як спалах, самозаймання і самозагоряння.

Спалах - швидкоплинний процес згоряння парів горючої речовини, що виникає при їх контакті з відкритим джерелом вогню. Якщо джерело вогню забрати з зони спалаху, то процес спалаху припиняється, бо під час кожного імпульсу спалаху виділяється недостатньо теплоти, щоб забезпечити необхідну для постійного процесу горіння концентрацію парів горючої речовини. Отже, температура спалаху - найнижча температура горючої речовини, при якій в умовах спеціальних випробувань над її поверхнею утворюються пари або гази, які можуть спалахнути від джерела вогню, але швидкість їх утворення ще недостатня для стійкого горіння (ГОСТ 12.1.044-84). Залежно від температури, при якій виділяється достатня кількість парів речовини, необхідних для спалаху, розрізняють рідини легкозаймисті (ЛЗР) та горючі (ГР). До ЛЗР належать рідини з температурою спалаху до 61°C у закритому тиглі (або до 66°C у відкритому тиглі), це за ГОСТ 12.1.004-85 ацетон, бензин, гас, скипидар, тощо. До ГР належать рідини, які мають температуру спалаху нижче відповідно 61 та 66°C, це машинні масла, олія, оліфа та ін. (таблиця Б1.1).

Займання - тривалий процес горіння, який виникає від джерела вогню і триває доти, поки з горючої речовини виділяється пара. Як правило, займання не припиняється і після видалення джерела запалювання. На процес займання впливають тиск і температура горючої суміші - при їх збільшенні межа займання розширюється. Крім того, концентраційним межам займання відповідають температурні межі - такі температури горючої речовини, при яких її насичена пара утворює

концентрації, що відповідають нижній і верхній концентраційній межі займання. Температурою займання називають таку найменшу температуру, при якій речовина загоряється або починає тліти і продовжує горіти або тліти після видалення джерела займання. Як правило, займання відбувається при температурах, вищих за температуру спалаху на 2-5⁰С для ЛЗР і на 5-30⁰С для ГР.

Самозаймання - процес горіння речовини, що виникає від зовнішньої температури, але без контакту з відкритим джерелом вогню. На відміну від займання, коли загоряється лише обмежена частина об'єму - поверхня, самозаймання відбувається в усьому об'ємі речовини, це можливо лише тоді, коли кількість теплоти, що виділяється в процесі окислення, перевищує віддачу теплоти в навколишнє середовище.

Різновидом самозаймання є самозагоряння - процес горіння, який виникає від теплоти, що нагромадилась в речовині внаслідок біологічних або фізико-хімічних процесів. При зберіганні здатні до самозагоряння зволожене зерно, сіно, солома, буре вугілля, торф, промаслені ганчірки тощо. Самозагораються від дії на них повітря рослинні масла і тваринні жири, нанесені тонким шаром на волокнисті і порошкоподібні матеріали, торф, буре і кам'яне вугілля. Газоподібні, жирні і тверді окислювачі: ацетилен, водень, метан і етилен в сумішах з хлором, марганцевокислий калій і гліцерин самозагораються при змішуванні один з одним. Самозагораються при дії на них води карбід кальцію, лужні метали та ін. Крім того, стиснений кисень викликає самозагоряння мінеральних масел, що не відбувається при нормальному тиску.

2.2.2 Пожежна безпека

Пожежа - неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що призводить до матеріальних збитків.

Пожежна безпека - стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а в випадку її виникнення унеможливується дія на людей небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека створюється завдяки організації систем запобігання пожежі і пожежного захисту.

Система запобігання пожежам - комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на запобігання можливому виникненню пожежі.

Система пожежного захисту - комплекс організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають дії на людей небезпечних факторів пожежі і обмежують матеріальні збитки від неї.

Одним з різновидів горіння є вибух - процес надзвичайно швидкого горіння, що супроводжується швидким наростанням тиску і має велику

руйнівну здатність. Вибух станеться, якщо в повітряному середовищі виникає така концентрація пилу, пари або газів, яка досягає значення між нижньою і верхньою межами займання. Горючий пил й волокна є вибухонебезпечними, якщо їх концентраційна межа спалаху не перевищує 65 г/м³.

У залежності від пожежної небезпеки речовин (горючості, займання і вибухонебезпечності), крім ЛЗР і ГР, ГОСТ 12.1.004-85 позначає:

НГ - негорюча речовина, яка не здатна горіти в атмосфері повітря звичайного складу;

ВГ - важкогорюча речовина, може горіти лише під дією стороннього джерела запалювання, але не здатна горіти самостійно після його вилучення;

ГР - горюча речовина, може самостійно горіти після вилучення джерела запалювання;

ГГ - горючий газ, який здатний утворювати з повітрям займисті і вибухонебезпечні суміші при температурах не вище 55°C;

ВР - вибухонебезпечна речовина, яка може вибухнути або детонувати (горіти з швидкістю понад 1000 м/с) без наявності кисню повітря.

2.2.3 Класифікація приміщень і виробництв за вибуховою і пожежною безпекою

Згідно з ОНТП-86 приміщення і виробництва за вибуховою і пожежною безпекою поділяються на категорії А, Б, В, Г, Д у залежності від:

- властивостей речовин і матеріалів, що знаходяться у відповідному приміщенні;
- кількості цих речовин і матеріалів;
- характеристик технологічного процесу обробки або зберігання цих речовин і матеріалів. Категорія визначається послідовно перевіркою належності від вищої категорії (А) до нижчої (Д), (таблиця Б1.2).

2.2.4 Вогнестійкість будівельних матеріалів, конструкцій та будівель

За здатністю горіти будівельні матеріали поділяються СНиПом 2.1.02-85 на:

- негорючі - під дією вогню або високої температури не спалахують, не тліють і не обвуглюються (всі природні і штучні неорганічні матеріали, метали, гіпсові та гіпсоволокнисті плити з вмістом органічної речовини не більше 8% за масою, мінераловатні плити з вмістом синтетичних, крохмальних або бітумних зв'язок до 6% за масою;

- важкогорючі - під дією вогню або високої температури спалахують, тліють або обвуглюються і продовжують горіти, тліти або обвуглюватися при наявності джерела загоряння, а після його вилучення горіння або тління припиняється (асфальтовий бетон, гіпсові і бетонні матеріали з вмістом органічного наповнювача більше 8% за масою, мінераловатні плити з бітумним наповнювачем більше 7-15%, глиноземні матеріали питомою масою не менше 900 кг/м³, повсть, намочена в глиняному розчині, просочена глибоко антипіренами деревина, цементний фіброліт, полімерні матеріали);

- горючі - під дією вогню або високої температури спалахують, тліють або обвуглюються і продовжують горіти, тліти або обвуглюватися після видалення джерела загоряння (усі органічні матеріали, що не відповідають вимогам до важкоспалимих і неспалимих матеріалів - деревина, лінолеум, повсть, пробкові плити, соломисті матеріали тощо).

Вогнестійкість - це здатність будівельних конструкцій зберігати свої робочі функції і властивості під дією високих температур пожежі. Вогнестійкість характеризується межею вогнестійкості - часом, протягом якого будівельна конструкція не втрачає своєї несучої і захисної здатності. Межа вогнестійкості вимірюється в годинах від початку випробування конструкції на вогнестійкість за стандартним температурним режимом до прояви однієї з таких ознак:

- утворення в конструкції наскрізних тріщин, через які можуть проникати продукти горіння або полум'я;

- підвищення температури на поверхні конструкції, що нагрівається, в середньому більше ніж на 160°C, або в будь-якій точці цієї поверхні більше ніж на 180°C у порівнянні з температурою конструкції до випробування, або 220°C незалежно від температури, з якою порівнюють;

- втрати конструкцією несучої спроможності - її руйнування. Вогнестійкість будівель і споруд поділяється за СНиПом 2.01.02-85 на п'ять ступенів I, II, III, IV і V, там же нормуються межі вогнестійкості елементів конструкцій у залежності від ступеня вогнестійкості споруди (таблиця Б1.3 та Б1.4).

2.2.5 Вимоги пожежної безпеки при проектуванні будівель і генеральних планів підприємств та селищ

При проектуванні будівель, з метою обмеження розповсюдження полум'я у разі виникнення пожежі, використовують протипожежні перешкоди - протипожежні стіни, перегородки, перекриття, двері, люки, тамбур-шлюзи, вікна, зони та клапани. Межі вогнестійкості для кожного типу перешкод нормовані СНиП 2.01.02-85 (таблиця Б1.5).

Крім того, в залежності від категорії вибухової та пожежної небезпеки приміщень і ступеня вогнестійкості будівлі СНиП 2.09.02-85

обмежує кількість поверхів і площу поверху в межах пожежного відсіку (таблиця Б1.6).

Для забезпечення евакуації працюючих у разі виникнення пожежі, будівля повинна мати евакуаційні виходи, найбільша відстань до яких залежить від категорії вибухової та пожежної небезпеки приміщень, ступеня вогнестійкості споруди і об'єму приміщення (таблиця Б1.7), а ширина евакуаційних виходів розраховується за нормованою СНиП 2.01.02-85 кількістю людей на 1 м ширини евакуаційного виходу, яка залежить від тих же параметрів, що й найбільша відстань до евакуаційного виходу (таблиця Б1.8).

З метою запобігання розповсюдженню пожежі на декілька споруд між ними повинні бути протипожежні розриви - відстань між об'єктами, яка запобігає поширенню пожежі від об'єкта, що горить, на інші, внаслідок перекидання вогню або променевої теплоти. Відстані між спорудами і будівлями залежать від ступеня їх вогнестійкості і встановлені СНиП 2.09.01-85 (таблиця Б1.9).

2.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.3.1 Установа для експериментального визначення температури спалаху у закритому тиглі

Установа для експериментального визначення температури спалаху ($t_{сп}$) горючих рідин має нагрівальний пристрій, який живиться постійним струмом напругою 100 В, і закритий тигель об'ємом 30 мл, в який заливається рідина, що досліджується. Тигель має кришку, яка може повертатися і відкривати віконце у тиглі. Крім того, у кришку вмонтована термopара, з'єднана з магнітоелектричним мілівольтметром.

Для дослідження, крім того, потрібен барометр.

2.3.2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

УВАГА! ЕКСПЕРИМЕНТ ВИКОНУЄТЬСЯ ВИКЛАДАЧЕМ.

1. Увімкнути установку в розетку постійного струму напругою 100В.
2. Тигель з рідиною, що досліджується, вставити в нагрівальний пристрій. Віконце тигля повинно бути закритим.
3. Після нагрівання рідини у тиглі до 100°C відкрити віконце і піднести до нього запаленого сірника. Якщо спалаху нема, закрити віконце.
4. Через кожні 2°C нагрівання рідини повторювати дії п.3 до спалаху парів рідини.
5. Зафіксувати температуру, при якій стався спалах - це буде експериментально визначена температура спалаху $t_{екс}$ рідини.

6. Вимкнути установку з розетки і відсунути тигель з рідиною від нагрівального пристрою.

7. Зафіксувати за барометром атмосферний тиск у лабораторії.

8. Визначити поправку (Δt) з врахуванням величини атмосферного тиску (ГОСТ І2.І.044-84)

$$\Delta t = \frac{101.3 - P}{3.3} \cdot 0.9 \quad (2.1)$$

де P - фактичний барометричний тиск у лабораторії, кПа.

9. Визначити істинну температуру спалаху горючої рідини за формулою

$$t_{cn} = t_{екс} + \Delta t \quad (2.2)$$

2.3.3 ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

(Протокол виконання лабораторної роботи № 4)

ЗАВДАННЯ 2.1

Визначити за результатами експерименту температуру спалаху рідини.

Таблиця 2.1

Рідина, що досліджується	Барометричний тиск, кПа	Δt , °С	Температура спалаху		Клас рідини
			$t_{екс}$	$t_{сп}$	

Примітка. Завдання 2.2-2.9 виконуються за варіантом таблиці Б1.1 (варіант визначається для кожного студента викладачем).

ЗАВДАННЯ 2.2

Обґрунтувати вибір категорії вибухової та пожежної небезпеки приміщення, у якому використовується речовина, номер якої за додатком 1 збігається із варіантом завдання. Користуватись таблицями Б1.1 і Б1.2.

Примітка. У варіантах 10 і 14 речовина перебуває у розжареному стані!

Таблиця 2.2

Номер за табл. Б1.2	Речовина	$t_{\text{займ.}}$ $t_{\text{сп.}}$ $t_{\text{самозайм}}$	Техпроцес	Категорія приміщення за вибухо- та пожежною небезпекою	Характеристика виробництва

ЗАВДАННЯ 2.3

Вибрати конструктивні характеристики будівлі зі ступенем вогнестійкості: I - варіанти 2,4,9,15,18; II - варіанти 1,6,8, 10,16,17,19; III - варіанти 3,5,7,11; IV - варіанти 12,13,14,20.

Користуватись таблицею Б1.3.

Таблиця 2.3

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні особливості

ЗАВДАННЯ 2.4

Визначити мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження по них полум'я для ступеня вогнестійкості завдання 2.3.

Користуватися таблицею Б1.4.

Таблиця 2.4

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, косоури, балки, марші драбинних клітин	Плити, настили (з утеплювачем), інші несучі конструкції перекриття	Елементи перекриття	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами

ЗАВДАННЯ 2.5

Знайти 3 види і типи протипожежних перешкод та мінімальні межі їх вогнестійкості для будівлі за завданнями 2.3 і 2.4.

Примітка. Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод за таблицею Б1.5 повинні бути не менші за прийняті межі вогнестійкості відповідних елементів конструкцій у завданні 2.4.

Таблиця 2.5

Ступінь вогнестійкості	Номер п/п	Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод і їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів, год

ЗАВДАННЯ 2.6

Для умов завдань 2.2 і 2.3 визначити допустиму кількість поверхів і їх площу в межах пожежного відсіку.

Користуватись таблицею Б1.6.

Таблиця 2.6

Категорія виробництва	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа в межах пожежного відсіку будівлі, м.	
			Багатоповерхової	
			Два поверхи	Три і більше

ЗАВДАННЯ 2.7

Для умов завдань 2.2, 2.3, 2.6 визначити максимально можливий об'єм приміщення і найбільшу відстань (м) до евакуаційних виходів.

Користуватися таблицею Б1.7.

Таблиця 2.7

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м ²		
			до 1	Від 1 до 3	від 3 до 5

ЗАВДАННЯ 2.8

Для умов завдання 2.7 визначити кількість людей на 1м ширини евакуаційного виходу (дверей). Користуватися таблицею Б1.8.

Таблиця 2.8

Об'єм приміщення, тис м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу

ЗАВДАННЯ 2.9

Визначити розміри протипожежних розривів між будівлями за завданнями 2.2 і 2.3 і будівлями I, II, III, IV і V ступенями вогнестійкості. Користуватися таблицею Б1.9.

Таблиця 2.9

Категорія виробництва	Ступінь вогнестійкості будівлі	Відстань до будівель, м при їх ступені вогнестійкості		
		I і II	III	IV і V

2.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке горіння?
2. За якими умовами можливе горіння?
3. Які існують види горіння?
4. Якими показниками характеризується горіння різних речовин?
5. Як зароджується й розвивається процес горіння?
6. Що таке фронт полум'я?
7. Що таке нижня і верхня межі спалаху, концентраційні й температурні? Зв'язок між ними.
8. Що таке спалах?
9. Що таке температура спалаху?
10. Як класифікуються рідини за температурою спалаху?
11. Що таке займання?
12. Що таке температура займання?
13. Що таке самозаймання?
14. Що таке самозагоряння?
15. Що таке пожежа?
16. Як забезпечується пожежний захист і що таке пожежна безпека?
17. Що таке системи запобігання пожежам і пожежного захисту?
18. Коли стає можливим вибух і що це таке?
19. Як класифікуються речовини в залежності від пожежної небезпеки?
20. Як класифікуються будівельні матеріали за здатністю горіти?
21. Що таке вогнестійкість і чим вона характеризується?

22. Що таке межа вогнестійкості?
23. Як класифікуються будівлі і споруди за вогнестійкістю?
24. Як класифікуються виробництва та приміщення за вибуховою і пожежною небезпекою?
25. Від чого залежить категорія виробництва за вибуховою і пожежною небезпекою?
26. Які бувають протипожежні перешкоди?
27. В залежності від чого обмежується кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку?
28. Від чого залежить допустима найбільша відстань до евакуаційного виходу?
29. В залежності від чого розраховується ширина евакуаційного виходу?
30. Що таке протипожежні розриви?
31. Від чого залежить величина протипожежного розриву?
32. Як експериментально визначається температура спалаху рідин?
33. Як впливає барометричний тиск на температуру спалаху рідини?

ЛІТЕРАТУРА

1. Золотницький Н.Д., Пчелинцев В.А. Охрана труда в строительстве. - М.: Высшая школа, 1978.
2. Кобевник В.Ф. Охрана труда. - Киев: Вища школа, 1990.
3. Орлов Г.Г. Охрана труда в строительстве. - М.: Высшая школа, 1984.
4. Русин В.И. и др. Охрана труда в строительстве. Инженерные решения. Справочник. Киев: Будівельник, 1990.
5. Сборник противопожарных норм и правил строительного проектирования) Сост. В.В. Денисенко. - К.: Будівельник, 1990.
6. ГОСТ 12.1.004-85. Пожарная безопасность. Общие требования.
7. ГОСТ 12.1.033-81. Пожарная безопасность. Термины и определения.
8. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования.
9. ГОСТ 12.1.044-84. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
10. Общесоюзные нормы технологического проектирования (ОНТП 24-86), 1986.
11. Строительные нормы и правила. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы. - М., 1986.
12. Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.02-85. Производственные здания. М., 1986.
13. Строительные нормы и правила. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий. - М., 1986.

Додаток Б

Таблиця Б1.1 – Значення показників пожежної небезпеки речовин, сумішів і технічних продуктів (Б) (ГОСТ 12.1.004 – 85)

Но- мер п/п	Речовина	Характеристики речовини			
		t _{сп} , °С	t _{займ} , °С	t _{самозайм} °С.	нижня концентр. межа спалаху, г/м ³
1	2	3	4	5	6
1	Анілін	73	-	-	61
2	Ацетон	-18	-	-	38,6
3	Гліцерин	198	-	-	-
4	Бензин А-76	-36	-	-	137
5	Масло трансформаторне	150	-	-	-
6	Скипидар	34	-	-	41,3
7	Алюміній (аерозоль)	-	-	725	40
8	Ебоніт (аерозоль)	-	-	360	7,6
9	Бутан	-	-	460	37,4
10	Бронза	-	-	-	-
11	Антрацит	-	300	500	100-250
12	Торф	-	230	280	-
13	Деревина	-	240-270	350-400	-
14	Бетон	-	-	-	-
15	Спирт	-2	-	750	-
16	Формалін технічний	67	-	435	-
17	Оцтова кислота	38	-	-	-
18	Толуол	4	-	-	38,2
19	Житнє борошно	410	-	-	20-63
20	Вугілля деревне (аерозоль)	-	-	-	68,8

Таблиця Б1.2 – Категорії приміщень за пожежною і вибухонебезпекою (ОНТП 24-86)

Категорія приміщення	Характеристика речовин та матеріалів, що знаходяться у приміщенні
А (вибухонебезпечна)	Горючі гази, легкозайmistі рідини з температурою спалаху не більше 28°C у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, при займанні яких розвивається тиск вибуху, що перевищує 5 кПа, а також речовини, які здатні вибухнути і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним в такій кількості, що розрахунковий тиск перевищує 5 кПа.
Б (вибухопожежо-небезпечна)	Горючий пи́л або волокна, легкозайmistі рідини з температурою спалаху більше 28°C, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні суміші, при займанні яких виникає розрахунковий тиск вибуху, який перевищує 5 кПа.
В (пожежо-небезпечна)	Легкозайmistі, горючі і важкогорючі рідини, тверді горючі і важкогорючі речовини і матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним лише горіти при умові, що це приміщення не відноситься до категорії А чи Б.
Г	Негорючі речовини і матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променевої теплоти, іскор та полум'я, а також горючі гази, рідини і тверді речовини, які спалюються або утилізуються у вигляді палива.
Д	Негорючі речовини і матеріали в холодному стані.

Таблиця Б1.3 – Приклади конструктивних характеристик будівель у залежності від ступеня їх вогнестійкості

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні характеристики
I	Будівлі зі штучними і захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів.
II	Будівлі з несучими і захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції.
III	Будівлі зі штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття допускається застосування дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також плитковими матеріалами. До елементів покриття висуваються вимоги до меж вогнестійкості та меж розповсюдження полум'я; при цьому елементи покриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці.
III а	Будівлі переважно з каркасною конструктивною схемою, елементи каркаса – зі сталевих незахищених конструкцій. Захисні конструкції – зі сталевих профільованих листів або інших негорючих листових матеріалів з важкогорючим утеплювачем.
III б	Будівлі переважно одноповерхові з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса з суцільної або клеєної деревини, яка була піддана вогнезахисній обробці, що обмежує розповсюдження полум'я. Захисні конструкції – з панелей або зібрані з елементів, які виготовлені із застосуванням деревини або матеріалів на її основі. Деревина та інші горючі матеріали захисних конструкцій повинні бути піддані вогнезахисній обробці або захищені від впливу полум'я та високих температур таким чином, щоб обмежити межу розповсюдження полум'я.
IV	Будівлі з несучими і захисними конструкціями з суцільної або клеєної деревини та інших горючих або важкогорючих матеріалів, які захищені від дії полум'я та високих температур штукатуркою або іншими листовими чи плитковими матеріалами. До елементів покриття не висуваються вимоги до меж вогнестійкості та меж розповсюдження полум'я; при цьому елементи покриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці.
IV а	Будівлі переважно одноповерхові з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса – із сталевих профільованих листів або інших негорючих матеріалів з горючим утеплювачем.
V	Будівлі, до несучих і захисних конструкцій яких не висуваються вимоги до меж вогнестійкості та меж розповсюдження полум'я.

Таблиця Б1.4 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у год.) і максимальні межі розповсюдження полум'я по них (у см) для різних ступенів вогнестійкості будівель (СНиП 2.01.02-85)

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Сходові площадки, балки, козоури, марші сходових кліток	Плити, настили, (з утеплювачем), інші несучі конструкції перекрить	Елементи перекрить	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні ненесучі	Внутрішні ненесучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
I	$\frac{2.5}{0}$	$\frac{1.25}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{2.5}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.5}{0}$
II	$\frac{2}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{2}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.75}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{0}$
III	$\frac{2}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.25}{0}$ $\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{2}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.75}{0}$	$\frac{0.25}{\text{н.н.}}$	$\frac{\text{н.н.}}{\text{н.н.}}$
III а	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.5}{0}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{25}$	$\frac{0.25}{0}$
III б	1	0.5	$\frac{0.25}{0}$ $\frac{0.5}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{0.75}{0}$	$\frac{0.75}{25}$	$\frac{0.25}{0}$ $\frac{0.5}{25/40/}$	$\frac{0.75}{25/40/}$
IV	$\frac{0.5}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.5}{40}$	$\frac{0.5}{25}$	$\frac{0.25}{25}$	$\frac{0.25}{\text{н.н.}}$	$\frac{\text{н.н.}}{\text{н.н.}}$
IV а	$\frac{0.5}{40}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{\text{н.н.}}$	$\frac{0.25}{40}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{0}$	$\frac{0.25}{\text{н.н.}}$	$\frac{0.25}{0}$
V	Не нормується								

Примітки:

1. У чисельнику вказуються межі вогнестійкості будівельних конструкцій; у знаменнику - межі розповсюдження полум'я по них.

2. У дужках знаменника вказуються межі розповсюдження полум'я для вертикальних ділянок конструкцій.

3. Скорочення "н.н." означає, що показник не нормується.

Таблиця Б1.5 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості (СНиП 2.01.02-85)

Но- мер п/п	Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів, год
1	Протипожежні стіни	1	2.5
		2	0.75
2	Протипожежні перегородки	1	0.75
		2	0.25
3	Протипожежні перекриття	1	2.5
		2	1
		3	0.75
4	Протипожежні вікна і двері	1	1.2
		2	0.6
		3	0.25
5	Протипожежні ворота, люки, клапани	1	1.2
		2	0.6
6	Тамбур-жалюзі; Елементи тамбур-жалюзі: - протипожежні перегородки - протипожежні перекриття - протипожежні двері	1	0.75
		2	0.75
		3	0.6
7	Протипожежні зони, елементи зон: - протипожежні стіни, що відділяють зону від приміщень пожежних відсіків; - протипожежні перегородки зовн./внутр.); - колони; - протипожежні перекриття; - елементи перекриття; - зовнішні стіни.	1	-
		2	0.75
		2	0.25
		-	-
		3	0.75
		-	0.75
		-	0.75
8	Протипожежні зони. Елементи зон: - елементи покриття, зовнішні стіни ; - колони, греблі; - діафрагми.	2	-
		-	0.75
		-	0.75
		-	не нормується

Таблиця Б1.6 – Ступінь вогнестійкості, допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі (СНиП 2.09.02-85)

Категорія будівлі (пожежних відсіків)	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , будівель		
			одноповерхових	багатоповерхових	
				2 поверхи	3 поверхи і більше
А і Б	6	І	не обмежується	-	-
А і Б (за винятком будівель нафтопереробної, газової, хімічної та нафтохімічної промисловості)	6 1	ІІ ІІа	Теж 5200	- -	- -
А – будівлі нафтопереробної, газової, хімічної та нафтохімічної промисловості	6 1	ІІ ІІа	не обмежується 3500	5200 -	3500 -
Б – будівлі нафтопереробної, газової, хімічної та нафтохімічної промисловості	1 1	ІІ ІІа	не обмежується 3500	10400 -	7800 -
В	8	І-ІІ	не обмежується		
	3	ІІІ	5200	3500	2600
	2	ІІІа	25000	10400	-
	1	ІІІб	15000	-	-
	2	Іvа	2600	2000	-
	2	ІV	2600	2000	-
	1	V	1200	-	-
Г	10	І і ІІ	не обмежується		
	3	ІІІ	6500	5200	3500
	6	ІІІа	не обмежується		
	1	ІІІб	2000	-	-
	2	Іvа	6500	5200	-
	2	ІV	3500	2600	-

Таблиця Б1.7 – Найбільша відстань до евакуаційного виходу (СНиП 2.01.02-85)

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Відстань, м при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м ²		
			до 1	від 1 до 3	від 3 до 5
до 15	А і Б В	I,II,III а	40	25	15
		I,II,III,IIIa	100	60	40
		IIIб,IV	70	40	30
		V	50	30	20
30	А і Б В	I,II,IIIa	60	35	25
		I,II,IIIa	145	85	60
		IIIб,IV	100	60	40
40	А і Б В	I,II,IIIa	80	50	35
		I,II,III,IIIa	160	95	65
		IIIб,IV	110	65	45
50	А і Б В	I,II,IIIa, I,II,III,IIIa	120 180	70 105	50 75
		I,II,IIIa	140	85	60
60 і більше	А і Б В	I,II,III,IIIa	200	110	85
		I,II,III,IIIa	240	140	100
80 і більше	В	I,II,III,IIIa	не обмежується		
		IIIб,IV	160	95	65
		V	120	70	50
незалежно від об'єму	Г і Д	I,II,III,IIIa	не обмежується		
		IIIб,IV	160	95	65
		V	120	70	50

Таблиця Б1.8 – Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів (СНІП 2.01.02-85)

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу (дверей)
15	А і Б	I,II,IIIa	45
	В	I,II,III,IIIa	110
		IIIб,IV	75
		V	55
30	А і Б	I,II,IIIa	65
	В	I,II,III,IIIa	155
		IIIб,IV	110
40	А і Б	I,II,IIIa	85
		I,II,III,IIIa	175
		IIIб,IV	120
50	А і Б	I,II,IIIa	130
	В	I,II,III,IIIa	195
		IIIб	135
60 і більше	А і Б	I,II,IIIa	150
	В	I,II,III,IIIa	220
		IIIб	155
80 і більше	В	I,II,III,IIIa	260
незалежно від об'єму	Г і Д	I,II,III,IIIa	260
		IIIб,IV	180
		V	130

Таблиця Б1.9 – Мінімальні відстані між будівлями і спорудами, м (СНиП 2.09.01-85)

Ступінь вогнестійкості будівлі або споруди	Відстань між спорудами або будівлями, м при ступені їх вогнестійкості		
	I і II	III	IV-V
I і II	Не нормується для будівель та споруд з виробництвами категорії Г та Д, для будівель та споруд з виробництвами категорій А, Б, В-9	9	12
III	9	12	15
IV-V	12	15	18

Таблиця Б1.10 – Перелік основних показників пожежної та вибухонебезпеки речовин та матеріалів (ГОСТ 12.1.044-84)

Но-мер п/п	Показник	Застосування показників пожежної та вибухонебезпеки			
		газів	рідин	твердих речовин	пилу
1	Група горючості	+	+	+	+
2	Температура спалаху	-	+	+	-
3	Температура займання	-	+	+	+
4	Температура самозаймання	+	+	+	+
5	Нижня та верхня концентраційні межі розповсюдження полум'я (займання)	+	+	-	+
6	Температурні межі розповсюдження полум'я (займання)	+	+	-	-
7	Температура самонагрівання	-	-	+	+
8	Умови теплового самозаймання	-	-	+	+
9	Мінімальна енергія займання	+	+	-	+
10	Кисневий індекс	-	-	+	-
11	Здатність вибухнути і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами	+	+	+	+
12	Нормальна швидкість розповсюдження полум'я	+	+	-	-
13	Швидкість вигорання	-	-	+	-
14	Коефіцієнт димоутворення	-	-	+	-
15	Індекс розповсюдження полум'я	-	-	+	-
16	Показник токсичності продуктів горіння полімерних матеріалів	-	-	+	-
17	Мінімальний вибухонебезпечний вміст кисню	+	+	-	+

Примітки:

1. Знак "+" означає застосування, знак "-" незастосування показника.
2. Для пилу визначається лише нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я.

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

Мета роботи: 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 із землею (заземлена), супроводжується протіканням через заземлювач і через землю аварійного струму I_3 , який називається струмом замикання на землю.

На рис.3.1 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.

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] :

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

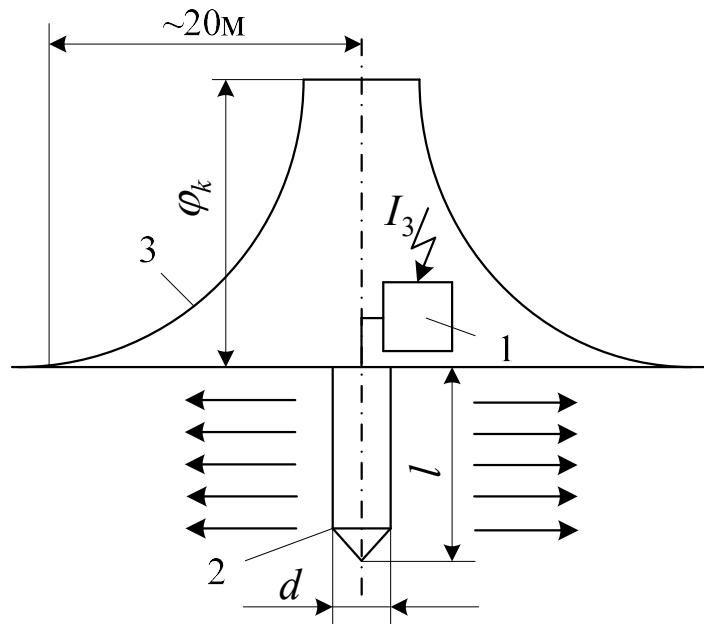


Рисунок 3.1 - Розподіл потенціалів на поверхні землі в зоні розтікання електричного струму: 1 - корпус електроустановки; 2 - заземлювач діаметром d і довжиною l ; 3 - крива розподілу потенціалів φ_k на поверхні землі; φ_k - потенціал, який виникає на корпусі електроустановки; I_3 - струм замикання на землю

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 наведена 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, то потенціал, який виникне на корпусі, буде визначатися величиною спаду напруги на заземлювачі з опором R_3 (див. формулу (3.1)):

$$\varphi_k = I_3 R_3.$$

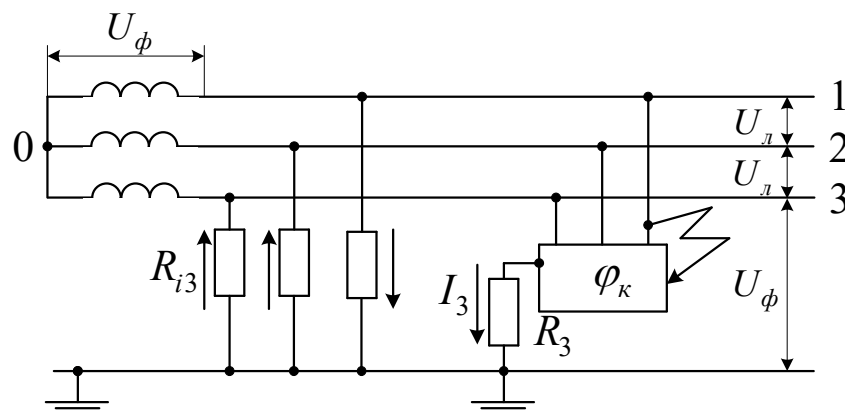


Рисунок 3.2 – Захисне заземлення електроустановки: 1,2,3 - фазні проводи мережі, 0 - нейтральна (нульова) точка джерела живлення, R_{i3} - активний опір ізоляції фазних проводів відносно землі, R_3 - опір розтіканню струму захисного заземлення (опір заземлювача), I_3 - струм замикання на землю, U_l - лінійна напруга мережі; U_ϕ - фазна напруга мережі, φ_k - потенціал на корпусі електроустановки

Виходячи з того, що величина опору захисного заземлення впливає на безпеку людини, її нормують (таблиця В1.1).

Струмом замикання на землю I_3 називається струм, який стікає у землю через місце замикання. Для мереж, напругою до 1 кВ (рис.3.2) він визначається за формулою:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + R_{i3}/3}. \quad (3.2)$$

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 [1] 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 поєднанні з контролем ізоляції мережі.

Виходячи з того, що величина опору ізоляції фазних проводів відносно землі впливає на безпеку людини, її нормують [1] : 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 наведена електрична схема занулення електроустановок.

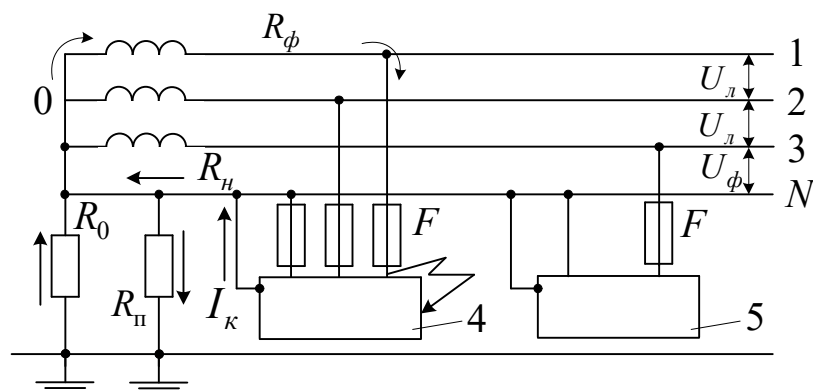


Рисунок 3.3 - Занулення електроустановок: N - нульовий провідник мережі, 4 - трифазна електроустановка, 5 - однофазна електроустановка, I_k - струм короткого замикання, R_0 - опір робочого заземлення нейтралі трансформатора, $R_п$ - опір повторного заземлення нульового проводу, $R_н$ - активний опір нульового проводу, $R_φ$ - активний опір фазного проводу, F - струмовий захист

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_0) джерела живлення та повторних заземлювачів ($R_п$), 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] :

$$\varphi_k = I_k R_n \frac{R_{\Pi}}{R_o + R_{\Pi}}. \quad (3.4)$$

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

Висновок:

Величини опорів R_o і R_{Π} , 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_o і R_{Π} нормуються (таблиця В1.2).

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 розраховується струм короткого замикання за формулою (3.6), а надалі, за формулою (3.5) перевіряється умова спрацьовування струмового захисту.

3.2.4 Контроль (вимірювання) опорів пристроїв заземлення

Конструктивно заземлювачі можуть бути виконані стрижневими, коли в землю занурюються вертикальні стрижні (електроди), а у вертикальній частині 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 ґрунту навколо заземлювачів під час його промерзання або просихання, їх

занурюють на глибину $h = 0,5 \dots 0,8$ м, як це показано на рис. 3.4.

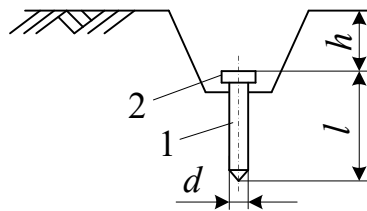


Рисунок 3.4 - Стрижньовий заземлювач: 1 - вертикальний електрод, 2 - горизонтальна штаба, l – довжина і d - діаметр вертикального електрода

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 введенням 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

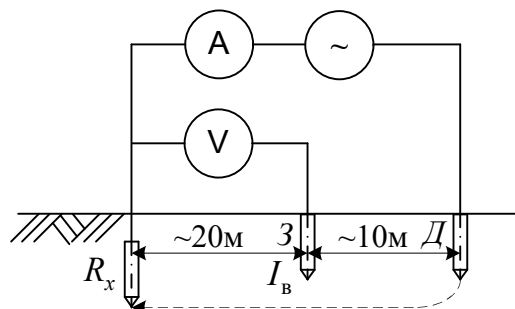


Рисунок 3.5 - Електрична схема вимірювання опору R_x методом амперметра-вольтметра: З - електрод-зонд; Д - допоміжний електрод; I_B - вимірюваний струм

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).

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 5 мм [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 (таблиця В1.3), який враховує стан ґрунту в момент вимірювання R_x .

3.2.5 Вимірювання питомого опору ґрунту

Вимірювання питомого опору ґрунту необхідне для розрахунку заземлювачів за формулі (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 ґрунт контрольний електрод (труба, стрижень), 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 наведена на рис. 3.5, призначена для вимірювання одиничних заземлювачів. Якщо заземлювачі розташовані за контуром, то відстані між додатковими електродами і R_x змінюються, як це показано на рис. 3.6.

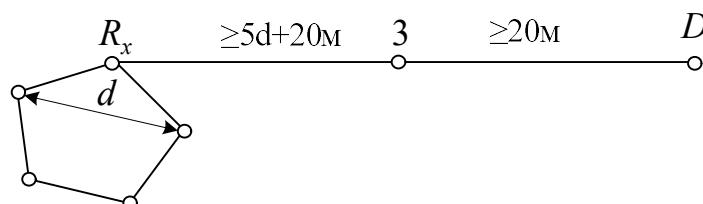


Рисунок 3.6 - Відстані між електродами при вимірюванні контурного (складного) пристрою заземлення

Існують і інші методи вимірювання питомого опору ґрунту.

Вимірювання опорів заземлювачів і питомого опору ґрунту здійснюється вимірниками 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 вимірну 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 випробовується 1 раз у 6 місяців мегомметром напругою 500 В, її опір повинен бути не менше 2 МОм (для подвійної ізоляції – 7 МОм).

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.

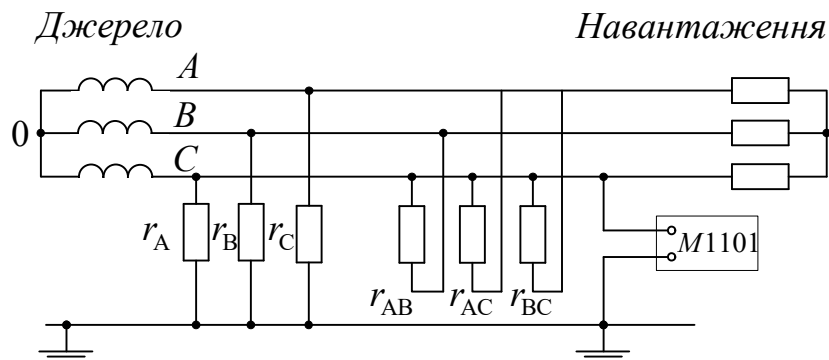


Рисунок 3.7 - Вимірювання опору ізоляції: r_A , r_B , r_C - опори ізоляції фаз відносно землі; r_{AB} , r_{AC} , r_{BC} - опори ізоляції між фазами

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 показані на лабораторному стенді. У приладі МС-08 амперметр і вольтметр замінені струмовою і потенціальною рамками логометра. Постійний струм, який виробляється генератором при обертанні руків'я із клеми "+" надходить на переривач, 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.

Різниця напруги подається через підсилювач і випрямляч на стрілковий індикатор. Рівність струмів настає при такому положенні рухомого контакту реохорда, при якому напруга на дільниці реохорда до

контакту дорівнює спаду 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.

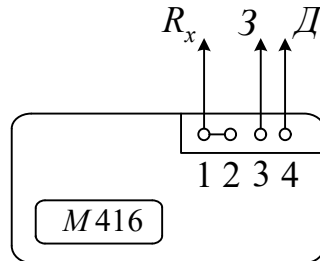


Рисунок 3.8 - Вимірювання R_x вимірювачем опору заземлення М416

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, показаної на рис. 3.5 (вставити кінці з'єднувальних проводів у гнізда на стенді).
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 таблицями В1.2 або В1.3 і внести його значення до табл.3.1.

3.1.5 За таблицею В1.3, 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 Розрахувати розрахунковий опір заземлювача R_p за формулою (3.8).

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

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. Режим нейтралі джерела живлення	Тип пристрою заземлення. Глибина закладення, довжина, діаметр заземлювача, см.	Стан ґрунту при вимірюванні	Коефіцієнт сезонності	Опір, Ом		
				Вимірюваний R_X	Розрахунковий R_p	Нормований R_H

ВИСНОВОК _____

Вимірювання проводили: _____

(підпис)(прізвище, ініціали) (посада)

Керівник робіт _____

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) вимірне значення 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 таблицею В1.4, $\rho_{\text{табл}}$

Вимірювання проводили: _____

(підпис) (прізвище, ініціали) (посада)

Керівник робіт _____

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

3. Забити в ґрунт 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. Розрахувати 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 розраховується 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)

Керівник робіт _____

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

3. Підімкнути мегомметр до мережі за схемою, яка показана на рис.3.7 і почергово 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. Навести електричну схему захисного заземлення.
8. Допустимі (нормовані) значення опорів пристроїв заземлення.
9. Довести, що струм замикання на землю у мережах з ізольованою нейтраллю залежить від опору ізоляції фаз відносно землі.
10. Коли використовуються мережі з ізольованою 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 (таблиця В1.2)?
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. Навести схему методу амперметра-вольтметра для вимірювання опорів складних пристроїв заземлення.
19. Які параметри характеризують стан ізоляції ?

Додаток В

Таблиця В1.1 – 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_z - розрахунковий струм замикання на землю

Таблиця В1.2 – Допустимі опори пристроїв заземлення нейтралей трансформаторів та повторних заземлювачів нульового проводу [4]

Напруга мережі U_l / U_ϕ , В	Заземлення нейтралі трансформатора R_0 , Ом	Повторне заземлення нульового проводу, R_{II} , 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

Таблиця В1.3 – 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
одиначний 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} - вимірювання проводилися при дуже зволоженому ґрунті або моменту вимірювання передували опади у великій кількості;

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

K_{C3} - вимірювання проводилося при сухому ґрунті.

Таблиця В1.4 – 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
Ґравій, 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
Супісок	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

1. Правила устрою електроустановок (ПУЕ). - 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 М1101м. Описание и правила пользования.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ І ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

Мета роботи: дослідити електричну безпеку і основні захисні засоби від ураження електричним струмом в мережах трифазного змінного струму з глухозаземленою і ізолюованою 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...4.4 до кожного із чотирьох завдань;
- електричні схеми до кожного із завдань (до кожної таблиці).

Наведені складати електричні схеми необхідно за умовами кожного із завдань, доповнюючи наведені в теоретичних відомостях схеми елементами, які за цими умовами відсутні або виключаючи зайві елементи. Кількість схем така:

- до завдань 1 і 2 - по одній схемі;
- до завдання 3 їх чотири (див. умови завдання 3, а також умови експерименту до табл. 3);
- до завдання 4 їх дві.

При виконанні лабораторної роботи, після відповідних вимірювань, заповнюються табл. 4.1...4.4, 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 будови електроустановок (ПБЕ [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.

Передача електричної енергії на значні відстані (від місця її виробу до споживача) здійснюється за декількома схемами, одна з яких показана на рис. 4.1.

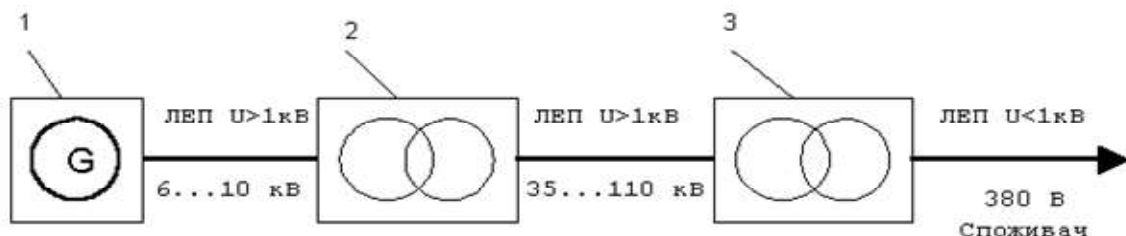


Рисунок 4.1 – Схема передачі електроенергії:

G - генератор; ЛЕП – лінії електропередачі; 1 - електростанція; 2 - підвищувальна трансформаторна підстанція; 3 - знижувальна трансформаторна підстанція

4.2.2 Електричні мережі трифазного змінного струму з ізолюваною нейтраллю

Ізолюваною називають нейтраль трансформатора (нульова точка джерела живлення), яка не приєднана до заземлювального пристрою (ізолювана від землі).

На рис. 4.2 наведена електрична схема трифазної трипроводової мережі

з ізолюваною нейтраллю (відповідно до рис. 4.1, це знижувальна трансформаторна підстанція з ЛЕП, яка має напругу до 1 кВ і живить споживачів).

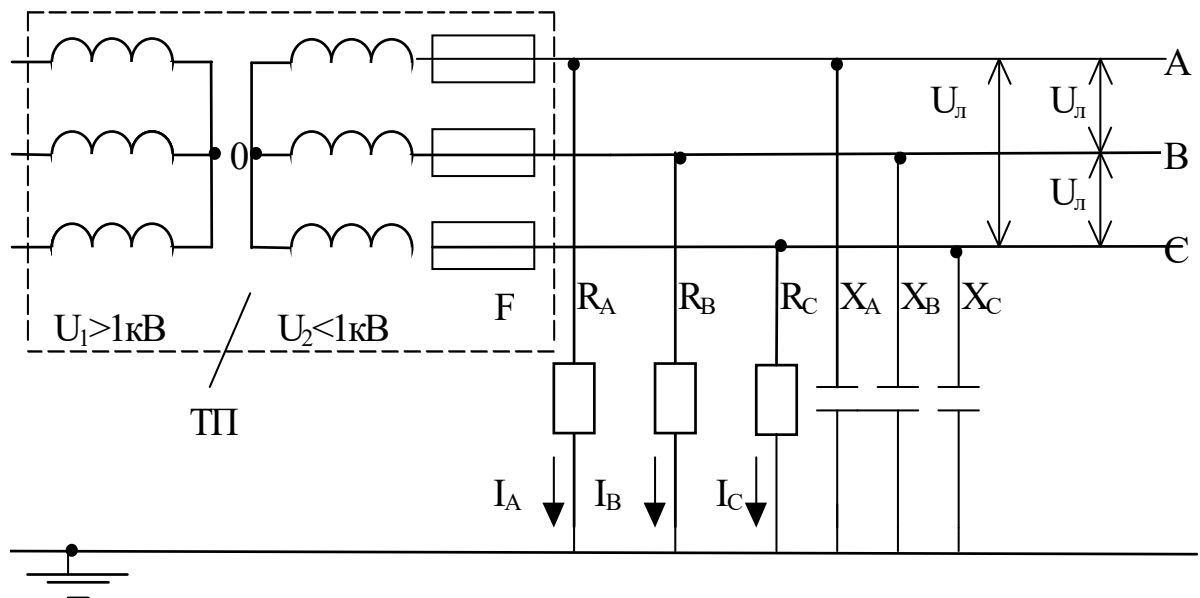


Рисунок 4.2 – Електрична схема трифазної мережі: U_1 , U_2 - відповідно напруги первинної і вторинної обмоток трансформатора; ТП - знижувальна трансформаторна підстанція; F - струмовий захист (запобіжники або автоматичні вимикачі); 0 - нульова, (нейтральна) точка трансформатора; А,В,С - фазні проводи 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 витоку фазних проводів

Внаслідок наявності різниці потенціалів між будь-яким фазним проводом і землею протікає дуже малий струм, який називають струмом витоку. 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 нехтування 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. 4.3 (перший випадок, однофазний дотик), рівнозначний її дотику до неізолюваного фазного проводу. Опір тіла людини вмикається паралельно

опору 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:

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_h + R_{i3}} = \frac{\sqrt{3} U_l}{3R_h + R_{i3}}, \quad A, \quad (4.1)$$

де R_h - опір тіла людини.

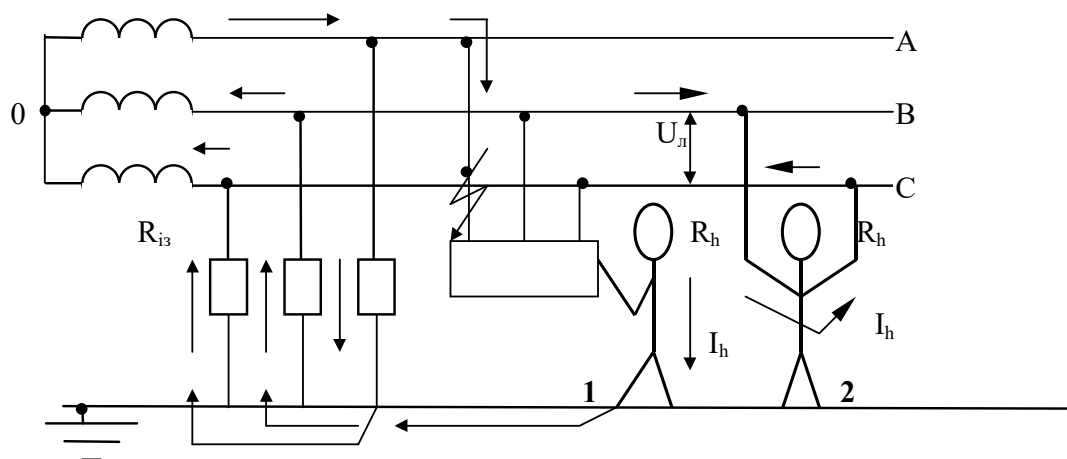


Рисунок 4.3 – Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: 1 - однофазний; 2 – двофазний дотик

Висновки:

1. Виходячи з формули (4.1), у випадку однофазного дотику людини до трифазної мережі змінного струму з ізолюваною нейтраллю, людина знаходиться під захистом опору ізоляції фазних проводів відносно землі. Тому в таких мережах необхідно підтримувати стан ізоляції проводів на достатньо високому рівні.

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

Приклад 1. Визначити величину струму, який тече через тіло людини при однофазному дотику до мережі з ізолюваною 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 (див. примітки до таблиці Г1.1). Згідно з формулою (4.1) одержуємо

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

Такий струм допустимий для людини у будь-яких випадках, див. таблицю Г1.1.

При двофазному дотику (рис. 4.3, випадок 2) людина потрапляє під повну напругу мережі, а струм, який тече через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_h = \frac{U_l}{R_h}, \quad A. \quad (4.2)$$

Висновки:

1. При двофазному дотику людини до трифазної мережі з ізолюваною 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 2. За даними прикладу 1 визначити величину струму, який протікає через тіло людини при двофазному дотику до мережі трифазного струму з ізолюваною нейтраллю. Відповідно до формули (4.2) маємо:

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

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

4.2.3 Захисне заземлення електроустановок

Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих 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. 4.4 показана електрична схема захисного заземлення.

Як видно із рис. 4.4, опір тіла людини вмикається паралельно опору 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

$$\varphi_k = I_3 \cdot R_e, \quad B, \quad (4.3)$$

Напруга дотику людини дорівнює різниці потенціалів

$$U_d = \varphi_k - \varphi_3, \quad B. \quad (4.4)$$

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

$$I_h = \frac{U_d}{R_h} = \frac{\varphi_k}{R_h} = \frac{\sqrt{3} U_l}{3R_h + R_{i3} + \frac{R_h \cdot R_{i3}}{R_3}}, \quad A \quad (4.5)$$

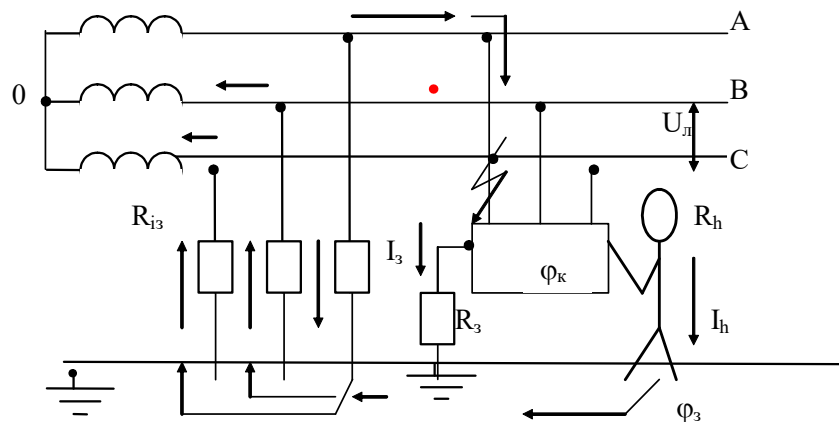


Рисунок 4.4 – Електрична схема захисного заземлення:
 R_3 - опір захисного заземлення; I_3 - струм замикання;
 ϕ_k - потенціал корпусу; ϕ_3 - потенціал землі

Якщо порівняти формулу (4.5) з формулою (4.1), то можна зробити висновок, що струм, який тече через тіло людини при використанні захисного заземлення, зменшився. Покажемо це на прикладі.

Приклад 3. За даними прикладу 1 визначити величину струму, який 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 (4.5) одержуємо

$$I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{(3 \cdot 1 + 500) \cdot 10^3 + \frac{(1 \cdot 500) \cdot 10^3}{10}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ mA}$$

Такий струм безпечний для людини у будь-яких випадках, обумовлених таблицею Г 1.1. Якщо порівняти цей струм із струмом однофазного дотику (приклад 1), то він зменшився на два порядки.

Висновок:

При використанні захисного заземлення у мережах з ізолюваною 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 ізолюваною 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 із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ.

4.2.4 Електричні мережі трифазного змінного струму із заземленою нейтраллю

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

На рис. 4.5 наведена електрична схема трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю. Такі мережі дуже поширені при напрузі до 1 кВ і використовуються як у побутових, так і в виробничих умовах.

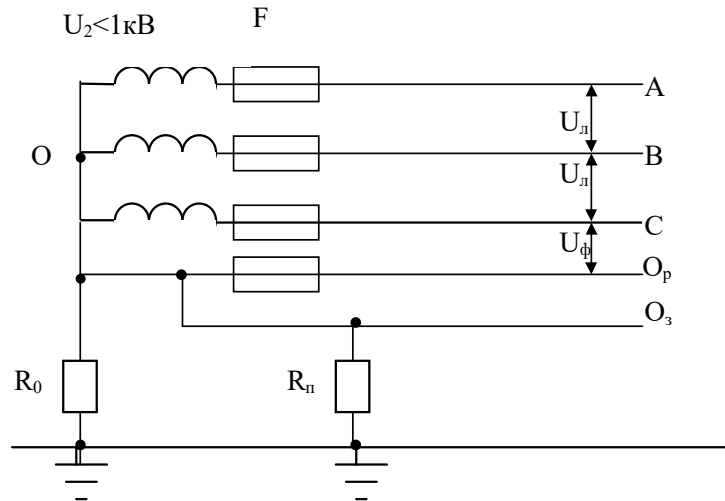


Рисунок 4.5 – Електрична схема трифазної мережі із заземленою нейтраллю: O_p - нульовий робочий провідник; O_z - нульовий захисний провідник; R_o - опір заземлення нейтралі трансформатора; R_n - повторне заземлення нульового захисного провідника; U_ϕ - фазна напруга мережі

В таких мережах провідності ізоляції проводів відносно землі набагато менші за провідність заземлюваного пристрою 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 із заземленою нейтраллю можна одержати дві напруги: лінійну (напругу між двома будь-якими фазними проводами) і фазну (напругу між будь-яким фазним і нульовим проводом). Залежність цих напруг така: $U_\phi = \sqrt{3}U_\Delta$. Співвідношення лінійних і фазних напруг (U_Δ/U_ϕ), В: 660/380, 380/220, 220/127. Найбільш поширеною є напруга 380/220 В.

Другий нульовий провідник (O_z) 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 вводі в приміщення.

Відповідно до наказу Міністерства енергетики та електрифікації України від 20.02.1997 р., 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.

Можливі схеми вмикання людини в електричне коло при нормальному режимі роботи мережі показані на рис. 4.6.

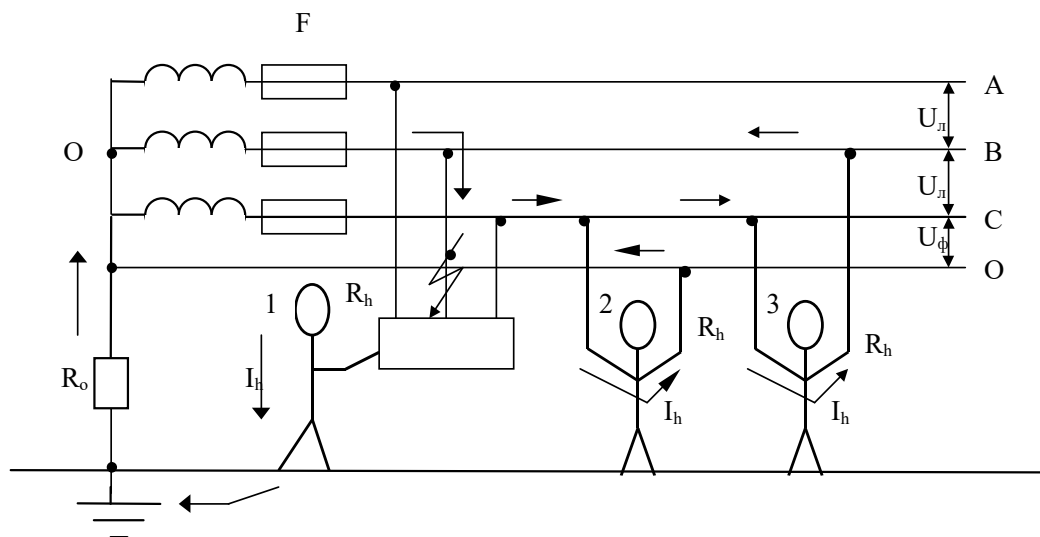


Рисунок 4.6 – Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: випадки 1,2 - однофазний дотик; випадок 3 - двофазний дотик

Розглянемо випадки дотику людини.

Перший випадок (однофазний дотик), дотик людини до корпуса 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 ввімкннутих опорів R_h і R_o , але $R_h \gg R_o$, тому

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}, \quad A \quad (4.6)$$

Приклад 4. Визначити струм, який тече через тіло людини в першому випадку. Якщо покласти, що $U_\phi = 220$ В, а $R_h = 1000$ Ом, то згідно із формулою (4.6) $I_h = 220/1000 = 0,22$ А = 220 мА.

Такий струм (50 Гц) є дуже небезпечним для людини (додаток) при 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 ізолюваними ручками, боти, калоші).

Випадок другий (однофазний дотик). Людина потрапляє під фазну напругу мережі, а струм, який тече через її тіло, визначається за формулою (4.6). 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 (лінійну) напругу мережі, а струм, який тече через її тіло, дорівнює

$$I_h = \frac{U_l}{R_h}, \quad A \quad (4.7)$$

Таку формулу ми вже зустрічали (див. формулу (4.2), приклад 2 і висновки до прикладу 2).

Висновки:

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

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

3. 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_l , U_ϕ) визначає значну перевагу використання трифазних мереж із заземленою нейтраллю.

4.2.5 Занулення електроустановок

У мережах із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ одне захисне заземлення не забезпечує достатньо надійного захисту. Це пояснюється тим, що при замиканні фазного проводу на заземлений корпус електроустановки, величина струму замикання обмежується опорами заземлювачів R_z і R_o , які з'єднані послідовно (рис. 4.7). В такому випадку величини струму може бути недостатньо для спрацьовування струмового захисту (автоматичних вимикачів або запобіжників). На корпусі електроустановки тоді виникає і може довго існувати небезпечна напруга.

Струм замикання визначається за формулою:

$$I_z = \frac{U_\phi}{R_z + R_o}, \quad A. \quad (4.8)$$

Якщо припустити, що $U_\phi = 220$ В, а $R_z = R_o = 10$ Ом, то струм замикання буде дорівнювати $I_z = 11$ А. Отже, якщо номінальний струм спрацьовування струмового захисту F або F1 буде дорівнювати більше 11 А, то спрацьовування його не відбудеться.

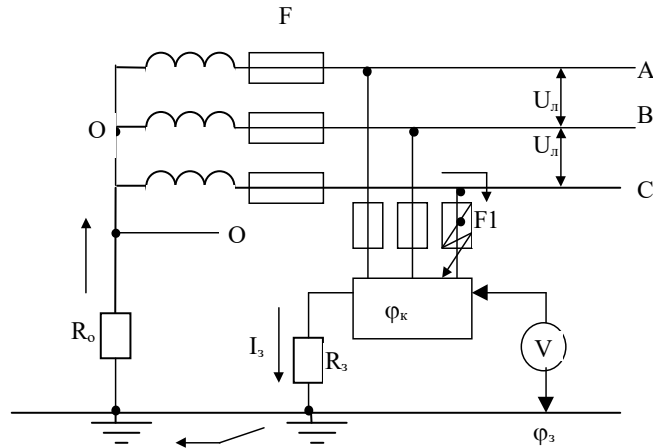


Рисунок 4.7 – Проходження струму замикання I_3 в мережі із заземленою нейтраллю при замиканні фазного проводу на корпус: F1 - струмовий захист електроустановки

На корпусі електроустановки з'явиться потенціал φ_k , який дорівнює спаду напруги на опорі заземлювача R_3 , а саме:

$$\varphi_k = I_3 \cdot R_3, \quad B. \quad (4.9)$$

Враховуючи формулу (4.8), потенціал корпусу буде дорівнювати:

$$\varphi_k = \frac{U_\phi \cdot R_3}{R_3 + R_0}, \quad B. \quad (4.10)$$

Якщо припустити, що $R_3 = R_0$, то

$$\varphi_k = U_\phi / 2, \quad (4.11)$$

а якщо $R_3 > R_0$, то $\varphi_k > U_\phi / 2$.

Приклад 5. Визначити, який струм тече через тіло людини при її дотику до корпусу електроустановки, яка живиться від мережі із заземленою нейтраллю, а фазний провід замкнув на корпус. Фазна напруга $U_\phi = 220 \text{ В}$, $R_3 = R_0$.

Згідно із формулою (4.11) маємо $\varphi_k = 220/2 = 110 \text{ В}$.

Розглянемо найбільш несприятливі умови, коли потенціал у точці дотику ніг людини дорівнює нулю, тобто $\varphi_z = 0$ (див. рис. 4.7). Тоді напруга дотику $U_\partial = \varphi_k - \varphi_z = \varphi_k$. Величина струму, який тече через тіло людини

$$I_h = \frac{U_\partial}{R_h} = \frac{\varphi_k}{R_h} = \frac{U_\phi}{2R_h} = \frac{220}{2 \cdot 1000} = 0,11 \text{ А} = 110 \text{ mA}.$$

Така напруга дотику і сила струму небезпечні для людини при дії струму більше 0,5 с у виробничих умовах і при дії 0,2 с - у побутових.

Висновок:

При замиканні фазного проводу на корпус електроустановки в

мережах з заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ захисне заземлення зменшує потенціал корпусу, але не до безпечної величини, тому в мережах з заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ необхідно забезпечити швидке та надійне вимикання пошкоджених електроустановок за рахунок спрацьовування струмового захисту.

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. 4.8) - 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. 4.8).

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

Як видно із рис. 4.8, призначення нульового проводу – забезпечення необхідної величини струму короткого замикання для спрацьовування струмового захисту за рахунок утворення для цього електричного кола з малим опором.

Повторне заземлення R_n зменшує загальний опір нульового проводу, тому що вмикається паралельно до його основного опору.

Потенціал φ_k , який виникає на корпусі електроустановки при замиканні на корпус, визначається аналогічно формулам (4.3) і (4.9)

$$\varphi_k = I_k \cdot R_n, \quad B, \quad (4.12)$$

де R_n - загальний (еквівалентний) опір нульового проводу.

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

До речі, якщо виконати захисне заземлення корпусу електроустановки, як це показано на рис. 4.7, і приєднати корпус до нульового проводу, то захисне заземлення перетворюється на повторне заземлення нульового проводу.

При аварійному режимі роботи, коли відбувається обрив нульового проводу в точці Б (рис. 4.8), 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 аналогічно формулі (4.12), а саме

$$\varphi_k = I_k \cdot R_n, \text{ В.}$$

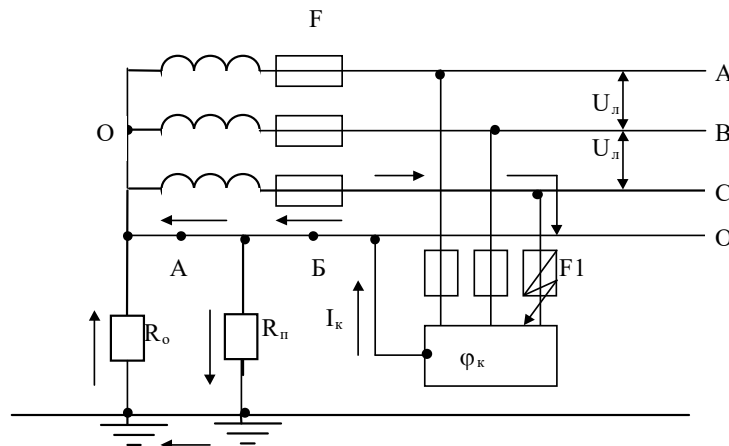


Рисунок 4.8 – Проходження струму короткого замикання I_k при зануленні корпусу

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 допустимих напруг дотику, які наведені в таблиці Г1.1, при дії струму 1 с і більше: 20 В для змінного 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.

4.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.3.1 Лабораторний стенд

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

Стенд універсальний і дозволяє моделювати трифазні мережі з ізолюваною і з заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі із 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 "R₀" вмикається заземлення нульової точки вторинної обмотки трансформатора (заземлюється нейтраль трансформатора). Вимикач "О 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_з" 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_а", "R_с" і "R_с".

Амперметр А₁ показує струм у мережі, а міліамперметр А₂ - 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 залежно від її опору R_h при однофазному дотику до "пробитого" корпусу електрообладнання у мережі із заземленою нейтраллю без засобів захисту. В цьому випадку занулення корпусу електродвигуна і повторне заземлення не передбачено. Дотик людини до корпусу пошкодженого електродвигуна в такому разі рівнозначний її дотику до фазного проводу (див. випадок 1 на рис. 4.6 і формулу (4.6)).

Підготувати табл. 4.1 для внесення результатів вимірювання.

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

2. Зібрати схему трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю. Для цього вимикач "Устр." перевести в робоче положення (вверх), заземлити вторинну обмотку трансформатора (нульову точку) вмиканням "R₀" і ввімкнути нульовий провід мережі вимикачем "О провод".

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 "бігучих вогнів", які зображають шлях проходження струму (в даному випадку через людину, землю, опір нейтралі трансформатора R_o і ту фазу, яка замкнула на корпус).

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_d , В
1000		
2000		
4000		
5000		
10 000		

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

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

6. Перемикач " $R_{цел}$ " 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 її 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 її опору R_h , при дотику до "пробитого" корпусу при його зануленні, а також зміну величини струму I_o , 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. 4.8, 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 через тіло людини залежно від її опору R_h при дотику до електрообладнання при його зануленні

$R_h, \text{ Ом}$	$I_h, \text{ мА}$	$I_o, \text{ А}$	$U_o, \text{ В}$	Опір кола "фаза-нуль"
1000				Більший нормативного
2000				
4000				
5000				
10 000				
5 000				Нормативний

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

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

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

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

5. Записати покази вольтметра V (напруга дотику U_o), 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 " $R_{\text{чел}}$ " перевести послідовно в наступні положення, кожний раз записуючи покази 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 " $R_{\text{чел}}$ " поставимо в будь-яке положення (наприклад, 5 кОм) і, увімкнувши вимикач "Шунтирующий", зменшимо опір кола "фаза-нуль" до нормативного значення. Що відбувається у даному випадку?

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

9. Зробити висновки щодо зміни струму, який протікає через тіло людини, залежно від її опору при використанні занулення. Що змінилося у порівнянні із 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 окремо характер зміни струму I_h , який проходить через тіло людини, при її дотику до "пробитого" корпусу при постійному опорі тіла людини ($R = 1000 \text{ Ом}$).

1. При зануленні корпусу і повторному заземленні нульового проводу (див. рис. 4.8, який треба доповнити зображенням людини і показати напрямком струму через її тіло).

2. При зануленні корпусу, повторному заземленні нульового проводу і захисному заземленні (рис. 4.8 треба доповнити зображенням людини і опором захисного заземлення (див. рис. 4.7), показати напрямки струмів).

3. При обриві нульового проводу в точці Б (рис. 4.8, який доповнюється зображенням обриву, людини і напрямком струму. Умови безпеки в цьому випадку рівнозначні з умовами випадку і рис. 4.6. Тому до цього пункту схему можна не зображати).

4. При обриві нульового проводу в точці А (рис. 4.8, який доповнюється зображенням обриву, людини і напрямками струму).

5. При використанні тільки захисного заземлення в мережі із заземленою нейтраллю (див. рис. 4.7. Який необхідно доповнити зображенням людини і напрямком струму).

Перераховані вище пункти (4.1... 4.5) збігаються з пунктами 4.1... 4.5 табл. 4.3 і з умовами 1... 5 виконання завдання 4.3. Підготувати табл. 4.3 до внесення результатів вимірювань.

Умова 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_о";

увімкнути нульовий провід мережі вимикачем "О провід";

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

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 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.

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

Умови	I_h , мА	I_o , А	U_d , 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			

Умова 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 умовою 1.

Умова 3

Вимкнути повторне заземлення “ R_p ” і захисне заземлення “ R_3 ”;
вимкнути нульовий провід за допомогою вимикача "О провід", імітуючи обрив нульового проводу;

записати покази приладів;

зробити висновки щодо зміни струму I_h порівняно з випадком, коли $R_h = 1000 \text{ Ом}$ із табл. 4.1.

Умова 4

Ввимкнути повторне заземлення нульового проводу, використовуючи вимикач “ R_p ”;

записати покази приладів;

зробити висновок щодо зміни струму I_h у порівнянні з умовами 3.

Умова 5

Примітка. В схемі, яка відображає умови 5, передбачена помилка: замість занулення корпусу застосоване захисне заземлення.

Зібрати схему захисного заземлення корпусу електродвигуна, для

чого:

- ввімкнути "О провод";
- вимкнути "Зануление" і "R_p" (повторне заземлення нульового проводу);
- ввімкнути опір заземлювального пристрою вимикачем "R₃";
- 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. 2;
- зробити висновок відповідно до табл. 4.3: при яких умовах через людину проходить найбільший і найменший струм;
- зробити висновок щодо ефективності використання в трифазних мережах із заземленою нейтраллю захисного заземлення або занулення.

Завдання 4.4

Визначити ефективність опору ізоляції фазних проводів відносно землі при використанні захисного заземлення електрообладнання (рис. 4.4) і без нього (рис. 4.3, випадок 1) в трифазній мережі з ізолюваною нейтраллю.

Підготувати табл. 4.4 для внесення результатів вимірювань.

Зібрати схему трифазної трипроводової мережі з ізолюваною нейтраллю. Для цього ввімкнути вимикач "Устр.", перемикач "R_{чел}" поставити в положення "1" ($R_h = 1000 \text{ Ом}$), перемикачі "R_a", "R_b" і "R_c" (опори фазних проводів відносно землі) поставити в положення 5 кОм.

Ввімкнути захисне заземлення корпусу за допомогою вимикача "R₃" і імітувати замикання на корпус, натиснувши кнопку "Замыкание".

Таблиця 4.4 – Визначення ефективності опору ізоляції проводів відносно землі в мережах з ізолюваною нейтраллю

Опір ізоляції мережі, кОм	I_h , мА	U_d , В	Примітка
1. 5			Із захисним заземленням
2. 5			Без захисного заземлення
3. 400			

Записати покази приладів, у пункт 1 табл. 4.4.

Вимкнути захисне заземлення вимикачем "R₃", імітуючи його обрив.

Записати покази приладів у пункт 2 табл. 4.4.
Перемикачі “R_а”, “R_в” і “R_с” поставити в положення 400 кОм.
Записати покази приладів у пункт 3 таблиці 4.4.
Привести схему в початкове положення і вимкнути стенд.
Зробити висновки щодо зміни струму I_h .

4.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати означення електробезпеки.
2. На які категорії поділяють ПУЭ мережі за напругою ?
3. Перерахувати номінальні напруги трифазного змінного струму.
4. Як поділяються електричні мережі за кількістю струмоведучих 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 захисного заземлення.
12. Зобразити електричну схему трифазної мережі із заземленою нейтраллю з розмежуванням нульового проводу, показати всі елементи мережі. Де такі мережі використовуються?
13. Зобразити електричні схеми однофазного дотику людини в мережі із 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, пояснити, як вона працює.
16. З якою метою і як виконується повторне заземлення нульового проводу?
17. Чому в мережах із 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.

Додаток Г

Таблиця Г1.1 – 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 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
Те ж 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 1кВ (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 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_n) 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

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 стандартов, 1985. - 17 с.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10

Мета роботи: ознайомитись з нормативними вимогами до електромагнітного поля та проведення контролю рівнів напруженості на робочих місцях.

5.1 ПІДГОТОВКА ЗВІТУ

Вивчити теоретичний матеріал за темою роботи (засвоєння контролюється на початку заняття за відповідями на контрольні запитання).

Перед заняттям необхідно підготувати бланк звіту, який повинен включати: назву лабораторної роботи; мету лабораторної роботи; програму роботи, схеми та таблиці досліджень, відведені місця для виконання розрахунків (без підготовленого звіту студент не допускається до виконання роботи).

Експериментальна частина.

Обробка результатів вимірювань у звіт лабораторної роботи.

У звіт включаються:

- назва лабораторної роботи;
- мета лабораторної роботи;
- перелік приладів та пристроїв, їх призначення;
- результати вимірювань та вибору нормованих параметрів напруженості електричного поля (табл. 5.3);
- розрахункові формули;
- графіки залежності величини напруженості та потужності електричного поля від часу перебування;
- висновки.

5.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

5.2.1 Основні поняття

Джерелом електромагнітного випромінювання є різні установки, починаючи від потужних телевізійних та радіотрансляційних станцій, електричних мереж та обладнання надвисокої напруги до установок високочастотного нагріву і електрорадіотехнічних приладів різного призначення.

Електромагнітне поле (ЕМП) являє собою сукупність двох взаємопов'язаних полів – електричного (E , В/м) та магнітного (H , А/м), які утворюються електромагнітними хвилями, що змінюються в часі.

ЕМП у просторі характеризується: вектором електричної напруженості E , вектором магнітної напруженості H , вектором

електричної індукції D та вектором магнітної індукції B , які пов'язані між собою рівняннями Максвелла. Ці рівняння, виконуються у кожній точці, в якій фізичні властивості середовища безперервні, і мають вигляд:

$$\operatorname{rot} E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad \operatorname{rot} H = \frac{\partial D}{\partial t}, \quad (5.1)$$

$$\operatorname{div} D = 0 \quad \text{та} \quad \operatorname{div} B = 0. \quad (5.2)$$

Якщо середовище – однорідне і не має феромагнітних властивостей, то

$$D = \varepsilon\varepsilon_0 E \quad \text{та} \quad B = \mu\mu_0 H, \quad (5.3)$$

де ε і μ – діелектрична і магнітна проникність середовища.

Вектори напруженості електричного E та магнітного H полів завжди перпендикулярні між собою, а також напрямленню розповсюдження електромагнітної хвилі.

Електромагнітні хвилі здатні виконувати різну дію завдяки перенесенню певної енергії

$$W = P \cdot T, \quad (5.4)$$

де T – час дії електромагнітного поля на людину, год.;

P – потужність електромагнітної енергії, поглинутої площею поверхні S , перпендикулярної розповсюдженню електромагнітної хвилі, визначається за виразом

$$P = E \cdot H \cdot S, \quad \text{Вт}. \quad (5.5)$$

В залежності від частоти ЕМП параметрів та типу випромінювальної системи, а також відстані від джерела випромінювання до робочого місця, робочі місця обслуговуючого персоналу можуть опинитися у зоні різної дії електромагнітного поля.

В залежності від частоти f чи довжини хвилі λ ($\lambda = c/f$, де $c=3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль у вакуумі) розрізняють такі види електромагнітних хвиль:

промислової частоти 50 Гц ($\lambda=6 \cdot 10^6$ м);

радіохвилі з частотою від 300 Гц до $3 \cdot 10^{11}$ Гц ($\lambda=10^6 \div 10^{-3}$ м);

рентгенівські з частотою $3 \cdot 10^{17} \div 3 \cdot 10^{20}$ Гц (довжиною хвилі від 10^{-9} до 10^{-12} м).

Чим вища частота електромагнітного поля тим більші проникні властивості електромагнітної хвилі у живий організм, відповідно і більша дія на організм людини.

В залежності від відстані від джерела ЕМП до робочого місця розрізняють три зони: ближню – зону індукції, проміжну – зону інтерференції та дальню – хвильову зону. Параметри, що характеризують ЕМП в цих зонах, різні. Так, з віддаленням від джерела низькочастотного ЕМП магнітна складова H зменшується набагато більше ніж електрична E , тому дію ЕМП на відстані від джерела оцінюють за напруженістю електричного поля.

Напруженість електричного поля, створена електроустановками змінного струму, створює заряд на тілі людини. Він, у свою чергу, викли-

кає проходження через тіло людини струму. Якщо людина не ізольована від землі (має контакт з нею через взуття, яке проводить струм, чи з'єднана з нею), то струм буде проходити через площу дотику людини з землею, а якщо ізольована (стоїть в діелектричному взутті), то струм протікає через ємність між людиною і землею.

Створений заряд на тілі людини згідно з [3] визначається виразом

$$Q_h = E \varepsilon_r \frac{\pi b^2}{N_a}, \quad (5.6)$$

де E – напруженість електричного поля на рівні голови, кВ/м;

N_a – коефіцієнт деполаризації еліпсоїда обертання вдовж осі обертання (тобто осі a);

ε_r – відносна діелектрична проникність півеліпсоїда обертання;

b – довжина малої півосі еліпсоїда обертання.

Даний вираз отримано для випадку, коли людина стоїть безпосередньо на землі у взутті, яке проводить струм, при прийнятих припущеннях:

тіло людини замінюється рівною йому по висоті і об'єму половиною витягнутого еліпсоїда обертання з півосями a та b , який стоїть на землі так, що більша його піввісь перпендикулярна поверхні землі (рис. 5.1);

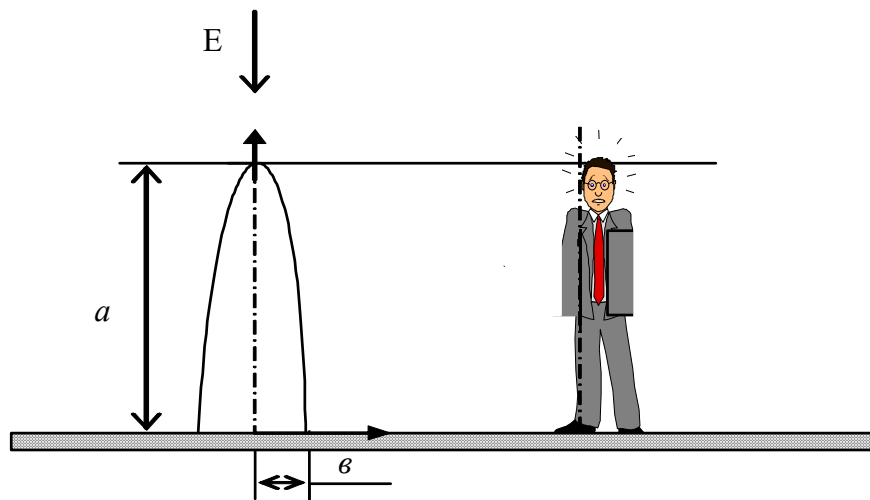


Рисунок 5.1 – Розміщення на землі людини і еквівалентного до неї по об'єму і висоті еліпсоїда обертання

півеліпсоїд виконаний з матеріалу, який не проводить струм і має відносну діелектричну проникність ε_r ;

вектор напруженості зовнішнього електричного поля E , вважається направленим вертикально вздовж більшої півосі еліпсоїда;

електричне поле до внесення у нього півеліпсоїда припускається однорідним.

Для людини середнього зросту еквівалентні параметри еліпсоїда обертання дорівнюють: $a = 1,7$ м, $b = 0,14$ м. Тіло людини відноситься до

середовищ, які проводять струм і мають відносну діелектричну проникність $\varepsilon_r \rightarrow \infty$, тому в розрахунках враховують тільки електричну постійну $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

При прийнятих припущеннях

$$N_a = \frac{\varepsilon^2}{a^2} (\ln \frac{2a}{\varepsilon} - 1). \quad (5.7)$$

Струм індукції, який протікає по тілу людини, I_h в амперах, дорівнює

$$I_h = \omega Q_h = \omega E \varepsilon_0 \frac{\pi a^2}{\ln(\frac{2a}{\varepsilon} - 1)}. \quad (5.8)$$

Вираз для енергії, поглинутої тілом людини, можна записати у вигляді

$$W_h = j^2 \cdot V_h \cdot \rho_h \cdot T, \quad (5.9)$$

де $j = I_h / S_{ocн}$ – густина струму в півеліпсоїді, еквівалентному тілу людини, А/м²;

$V_h = 2 / 3 \pi a \varepsilon^2$ – його об'єм, м³;

ρ_h – питомий опір тіла людини, Ом·м;

T – час знаходження людини в електричному полі, год.

Прийнявши з деяким припущенням, що $S_{ocн} = \pi \varepsilon^2$ вираз для енергії поглинутої тілом людини, яка знаходиться в електричному полі, прийме вигляд

$$W_h = \frac{2a\rho_h}{3\pi\varepsilon^2} I_h^2 T = \frac{2\pi a \varepsilon^2 \rho_h \omega^2 \varepsilon_0^2 E^2}{3N_a^2} T, \quad (5.10)$$

де $\omega = 2\pi f$ - кутова частота, с⁻¹;

f - частота струму, Гц.;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

$N_a = \frac{\varepsilon^2}{a^2} (\ln \frac{2a}{\varepsilon} - 1)$ - коефіцієнт деполаризації еліпсоїда обертання,

еквівалентний по об'єму тілу людини вдовж осі обертання a , для середньої людини ($a = 1,7$ м, $\varepsilon = 0,14$ м) $N_a = 323$. Питомий опір тіла для середньої людини $\rho_h = 2$ Ом·м.

Даний вираз повністю відповідає умовам, при яких розроблялись гігієнічні нормативи у медико-біологічних експериментах: люди поміщались у вертикально направлене електричне поле з відомою напруженістю.

Аналогічно можна записати вираз для потужності P_h , поглинутої тілом людини, враховуючи що $P_h = \frac{W_h}{T}$.

5.2.2 Дія електромагнітного поля на організм людини

При дії електромагнітного поля на організм людини відбувається по-

глинення енергії поля тканинами тіла, що в свою чергу може призвести до термічних, морфологічних а також функціональних змін у ньому.

Теплова дія ЕМП характеризується підвищенням температури тіла чи локалізованим нагріванням тканин. Нагрівання особливо небезпечне для органів із слабкою терморегуляцією, які мають невелику кількість кровоносних судин чи недостатній інтенсивний кровообмін: мозку, очей, частин органів кишкового тракту (нирок, кишечника і т.п.).

Морфологічна дія ЕМП проявляється у зміні будови та зовнішнього вигляду тканин та органів тіла людини (від опіків, змін структури клітин і т.п. у найбільш важких випадках до помірних чи слабких, обернених змін, розладнання живлення тканин або організму у цілому і т.п.).

Функціональна дія ЕМП характеризується передчасною стомленістю, сонливістю чи порушенням сну, головним болем, розладнанням нервової, серцево-судинної систем і т.п. При систематичному опромінюванні спостерігається змінення кров'яного тиску (гіпертонія), нервово-психічні захворювання, зниження полової потенції і т.п.

Ступень змін, які відбуваються у тілі людини під впливом ЕМП, обумовлені величиною поглинутої енергії (тобто значень E , H і тривалості дії T) та значенням довжини електромагнітної хвилі.

Для попередження професійних захворювань установлюють допустимі норми випромінювання.

5.2.3 Нормування рівнів опромінювання електричного поля промислової частоти

Проводиться згідно з [1]. Стандарт установлює гранично допустимі рівні напруженості електричного поля (ЕП) частотою 50 Гц для персоналу, який обслуговує електроустановки і знаходиться у зоні впливу ЕП, в залежності від часу опромінювання.

Залежність гранично допустимих рівнів напруженості електричного поля частотою 50 Гц від часу опромінювання показана на рис.1. Гранично допустимий рівень напруженості впливного ЕП встановлюється рівним 25 кВ/м. Перебування в ЕП напруженістю більше 25 кВ/м без застосування засобів захисту не допускається.

Перебування в ЕП напруженістю до 5 кВ/м включно допускається протягом робочого дня (8 годин).

Допустимий час перебування в ЕП напруженістю від 5 до 20 кВ/м включно обчислюють за формулою

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (5.11)$$

де T - допустимий час перебування в ЕП при відповідному рівні напруженості, год;

E - напруженість впливного ЕП в зоні, що контролюється, кВ/м.

При напруженості ЕП більше 20 до 25 кВ/м час перебування персоналу в ЕП не повинен перевищувати 10 хвилин.

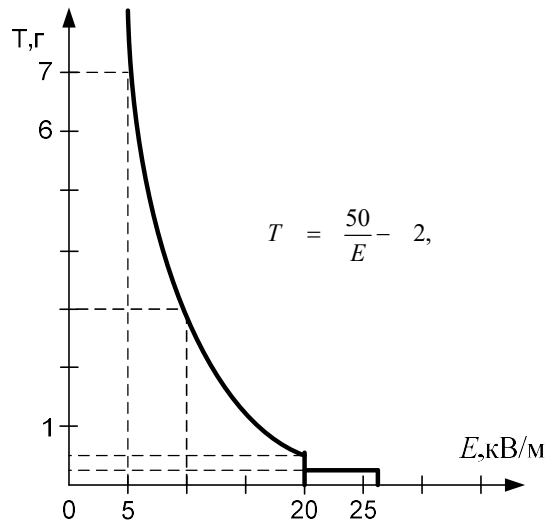


Рисунок 5.1 – Залежність визначення допустимої напруженості ЕП промислової частоти

Допустимий час перебування в ЕП може бути реалізований одноразово або частинами протягом робочого дня. Решту робочого часу напруженість ЕП не повинна перевищувати 5 кВ/м.

При знаходженні персоналу протягом робочого дня в зонах з різною напруженістю ЕП час перебування обчислюють за формулою

$$T_{np} = 8 \left(\frac{t_1}{T_1} + \frac{t_2}{T_2} + \dots + \frac{t_n}{T_n} \right), \quad (5.12)$$

де T_{np} - наведений час, еквівалентний за біологічним ефектом перебування в ЕП нижньої границі нормованої напруженості, год;

t_1, t_2, \dots, t_n - час перебування в контрольованих зонах при напруженості E_1, E_2, \dots, E_n , год.;

T_1, T_2, \dots, T_n - допустимий час перебування в ЕП для відповідних контрольованих зон. Наведений час не повинен перевищувати 8 год.

Примітка. Кількість контрольованих зон визначається перепадом рівнів напруженості ЕП на робочому місці. Різниця у рівнях напруженості ЕП контрольованих зон встановлюється 1 кВ/м.

5.2.4 Вимоги до проведення контролю напруженості ЕП промислової частоти на робочих місцях

При вимірюванні напруженості ЕП необхідно дотримуватися встановлених правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів гранично допустимих відстаней від оператора і

вимірювального приладу до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою.

Напруженість ЕП повинна вимірюватися в зоні знаходження людини при виконанні нею роботи. В усіх випадках повинна вимірюватись напруженість неоднорідного ЕП. При виконанні робіт без підйому на конструкції чи обладнання вимірювання напруженості ЕП повинні робитися: при відсутності захисних засобів - на висоті 1,8 м від поверхні землі; при наявності колективних засобів захисту - на висоті 0,5; 1,0 і 1,8 м від поверхні землі. При виконанні робіт з підйомом на конструкції чи обладнання (незалежно від наявності засобів захисту) - на висоті 0,5; 1,0 і 1,8 м від площадки робочого місця і на відстані 0,5 м від заземлених струмоведучих частин обладнання.

Час перебування в контрольованій зоні встановлюється, виходячи з найбільшого значення вимірної напруженості.

Напруженість ЕП на робочих місцях персоналу повинна вимірюватися: при прийомі в експлуатацію нових електроустановок; при організації нових робочих місць; при зміні конструкції електроустановок і стаціонарних засобів захисту від ЕП; при застосуванні нових схем комутації; в порядку постійного санітарного нагляду - 1 раз у два роки. Результати вимірювання необхідно фіксувати в спеціальному журналі або оформляти у вигляді протоколу.

5.2.5 Нормування рівнів опромінювання електромагнітного поля радіочастот

Проводиться згідно з [2]. Принцип нормування електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону залежить від частоти. У діапазоні частот від 60 кГц...300 мГц нормується напруженість електричної E та магнітної H складових ЕМП, в залежності від часу опромінення T , а у діапазоні частот 300 мГц...3000 гГц – густина потоку енергії P_w з урахуванням часу опромінення.

Гранично допустимі значення встановлених величин ЕМП частотою від 60 кГц...300 мГц, на робочих місцях і місцях можливого знаходження персоналу протягом робочого дня (8 год.), не повинен перевищувати значень наведених у таблиці 5.1.

Гранично допустимі значення напруженості електричного та магнітного полів для тривалості дії, відмінної від 8 годин, згідно з [2] встановлюється за формулами:

$$E_{гд} = \sqrt{\frac{N_E}{T}} \quad ; \quad H_{гд} = \sqrt{\frac{N_H}{T}}, \quad (5.13)$$

де $E_{гд}$ та $H_{гд}$ – гранично допустимі значення напруженості електричного та магнітного полів;

N_E та N_H – гранично допустимі навантаження протягом робочого дня,

$(\text{В/м})^2 \cdot \text{год}$ та $(\text{А/м})^2 \cdot \text{год}$;

T – час перебування в зоні дії ЕМП, год.

Таблиця 5.1 - Гранично допустимі значення встановлених величин ЕМП

Частота ЕМП, Гц	Допустима напруженість	
	електричного поля ($E_{гд}$, В/м)	магнітного поля ($H_{гд}$, А/м)
$6 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^6$	500	50
$3 \cdot 10^6 \div 30 \cdot 10^6$	300	-
$30 \cdot 10^6 \div 300 \cdot 10^6$	80	-

Гранично допустимі навантаження в залежності від частотного діапазону наведені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Гранично допустимі навантаження

Частота ЕМП, Гц	Гранично допустимі енергетичні навантаження	
	електричного поля W_E , $(\text{В/м})^2 \cdot \text{год}$	магнітного поля W_H , $(\text{А/м})^2 \cdot \text{год}$
$6 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^6$	20000	200
$3 \cdot 10^6 \div 30 \cdot 10^6$	7000	-
$30 \cdot 10^6 \div 300 \cdot 10^6$	800	-

Гранично допустимі значення густини потоку електромагнітної енергії $P_{гд}$ для діапазону частот 300 МГц...3000 ГГц знаходяться за формулою

$$P_{гд} = \kappa \frac{W_p}{T}, \text{ Вт/м}^2 \quad (5.14)$$

де W_p – гранично допустима величина енергетичного навантаження ЕМП, що дорівнює

$$W_p = 2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{год}; \quad (5.15)$$

κ – коефіцієнт послаблення біологічної ефективності, який дорівнює 1 – для всіх випадків дії, за винятком випромінювання обертових та сканувальних антен; 10 – для випадків випромінювання обертових та сканувальних антен.

У всіх випадках максимальне значення густини потоку електромагнітної енергії не повинне перевищувати 10 Вт/м^2 .

5.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.3.1 Установа для експериментального визначення напруженості електричного поля

Принципова електрична схема високовольтної установки показана на рис.5.1.

Основними елементами установки є плоский повітряний конденсатор та стенд, який дозволяє отримати змінну напругу частотою 50 Гц у діапазоні від нуля до 5 кВ.

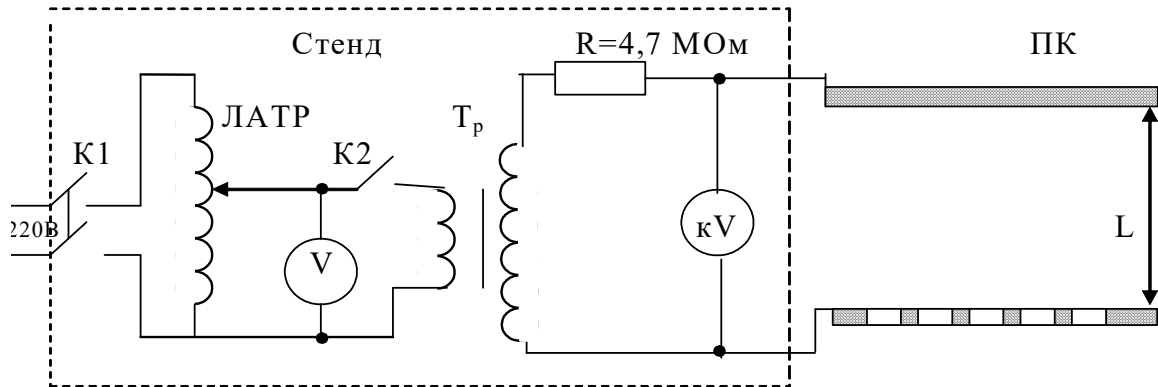


Рисунок 5.1 – Схема установки для визначення напруженості електричного поля

Плоский повітряний конденсатор являє собою збірну конструкцію, яка складається з двох алюмінієвих пластин, розміром 40х40х0,5 см і які з'єднані гетинаксовими стояками довжиною 0,5 м. На нижній пластині є отвори для встановлення плоских виносних датчиків вимірювача напруженості електричного поля.

Стенд складається з високовольтного трансформатора (T_p) ТГМ-1020 УХЛП 220/10000 В, регулятора напруги (P_n) ЛАТР, вольтметра на 220 В (V) та високовольтного вольтметра (кВ). Для забезпечення електробезпеки високовольтної установки верхня пластина повітряного конденсатора приєднується до джерела високої напруги через опір 4,7 МОм, розміщений в середині стенда. При цьому найбільший струм замикання виходу високовольтного трансформатора 10 кВ не перевищує 2,2 мА, що значно менше допустимого безпечного струму для людини.

У плоскому повітряному конденсаторі створюється електричне поле промислової частоти з напруженістю E , кВ/м, яка регулюється і визначається за формулою

$$E = \frac{U}{L}, \quad (5.16)$$

де U – ефективне значення напруги на пластинах конденсатора, В;
 L – відстань між внутрішніми поверхнями пластини.

5.3.2 Опис вимірювальних приладів та методики вимірювання

Контроль відповідності нормам величин напруженості електричного поля промислової частоти здійснюється вимірювачем напруженості електричного поля ПЗ-1М, який відрізняється від попереднього приладу ПЗ-1 сферичною формою датчика .

Прилад ПЗ-1М складається з сферичного датчика, у корпусі якого розташований вимірювальний механізм, та телескопічної штанги.

Вимірювач має 5 діапазонів вимірювання, які змінюються в залежності від положень кнопок на задній панелі приладу. При повністю відтиснутих кнопках діапазон вимірювання становить 100 В/м; в залежності від положення натиснутої кнопки виміряне значення множиться на відповідний множник ($\times 0,1$; $\times 1$; $\times 10$ і $\times 100$ кВ).

Перед проведенням вимірювання потрібно:

1. З'єднати сферичний датчик з телескопічною штангою.
2. Перевірити джерело живлення приладу. Для цього необхідно натиснути крайню кнопку на задній стороні вимірювача, над якою нанесено > 4 , при цьому стрілка приладу повинна відхилитися на поділку більше 4 та засвітитися світлодіод.

Якщо стрілка не доходить до 4 поділки на шкалі, то необхідно зарядити акумулятори приладу.

3. При вимірюванні напруженості електричного поля півсферичний датчик розміщують посередині пластин повітряного конденсатора. Телескопічна штанга вимірювача повинна бути витягнута на повну довжину.

Показники приладу в поділках на шкалі необхідно помножити на коефіцієнт, указаний в залежності від положення кнопки. Всі переключення діапазонів здійснюються при віддаленні вимірювача від пластин конденсатора на відстань не ближче 1 м.

В кінці вимірювання від'єднується телескопічна штанга від півсферичного датчика.

УВАГА! Бережіть ПЗ-1М від ударів і струшувань.

5.3.3 Вимоги безпеки

Приступати до виконання лабораторної роботи дозволяється студентам, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та перевірку знань підготовки до роботи.

1. Вмикання стенда, та проведення замірів проводиться тільки в присутності викладача з дотриманням правил безпеки.

2. Висока напруга подається на ПК за допомогою вимикача К2 після того, як буде виставлена необхідна напруга на первинній обмотці трансформатора.

3. В процесі роботи не допускається дотик до верхньої пластини ПК та проводів, які з'єднують стенд з повітряним конденсатором.

5.3.4 Проведення експерименту

При проведенні експерименту потрібно зробити вимірювання напруженості електричного поля промислової частоти для значень яких задає викладач на стенді. Дані заносяться в табл.5.3.

Таблиця 5.3 - Виміри напруженості електричного поля промислової частоти

но- мер	U_1 , В	U_2 , кВ	E , кВ/м	$T_{\text{доп}}$, год.	P_h , $\cdot 10^{-7}$ Вт	W_h , $\cdot 10^{-7}$ Дж
1						
2						
3						
4						
5						

Вимірювання напруженості електричного поля за допомогою ПЗ-1М проводяться в такому порядку:

1. Провести зовнішній огляд усіх елементів установки: ПЗ-1М, стенда, плоского конденсатора, з'єднувальних проводів та переконатись у їх справності. Звернути увагу на положення вимикачів на стенді – вони повинні бути вимкнені.

2. Після ознайомлення з п.3 "Вимоги безпеки" увімкнути з'єднувальний провід стенда до електромережі ~ 220 В.

3. Встановити вказану викладачем напругу U_1 на виході ЛАТРа при цьому тумблер вимикача К2 повинен бути вимкнений. Зміну напруги провести ручкою ЛАТРа, установленюю на стенді. Значення вихідної напруги показує вольтметр V.

3. Подати установленю напругу на вхід високовольтного трансформатора напруги. Для цього необхідно включити тумблер К2. Значення високої напруги U_2 , яка подається на пластини ПК, показує кіловольтметр кV.

4. З врахуванням напруги U_2 , яка подається на пластини ПК, за формулою (5.16) обчислити напруженість електричного поля і установити відповідний діапазон вимірювання ПЗ-1М.

5. Датчик ПЗ-1М на штанзі розмістити посередині пластин ПК і провести відлік числа поділок на шкалі приладу. Значення напруженості E помножити на відповідний коефіцієнт в залежності від ввімкнутого діапазону і записати у таблицю 5.3.

Аналогічно пункту 5 провести вимірювання напруженості для інших значень напруги U_2 , які встановлюються за допомогою ЛАТРа .

5.3.5 Обробка результатів експерименту

Для вимірних значень напруженості електричного поля згідно з п.5.2.3 визначити нормовані значення часу перебування в електричному полі.

Обчислені значення занести до табл. 5.3.

Визначити значення допустимого часу, потужності та енергії, яку може поглинути тіло людини з урахуванням норм [1], для значень напруженості електричного поля 5, 10, 15, 20 і 25 кВ/м.

Обчислені значення занести до табл.5.3.

Побудувати залежність допустимого часу перебування людини в електричному полі в залежності від потужності поглинутої її тілом у відповідності з ГОСТ 12.1.002-84.

5.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке електромагнітне поле, основні їх джерела?
2. Якими параметрами характеризується електромагнітне поле?
3. Як впливає електромагнітне поле на організм людини і від чого залежать наслідки його впливу?
4. Як нормуються рівні опромінювання ЕП промислової частоти?
5. Визначити допустимий час перебування у ЕП промислової частоти для значень напруженості 5кВ/м ; 10кВ/м ; 20кВ/м і 25кВ/м .
6. Як нормуються рівні опромінювання ЕМП радіочастот?
7. Якими приладами можна виміряти параметри ЕМП?
8. В якому випадку забороняється проведення робіт в ЕМП?

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.002-84. ССБТ. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. М.,1985.
2. ГОСТ 12.1.006-84. ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. М.,1985.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Безопасность труда в промышленности/ К.Н. Ткачук, П.Я. Галушко и др.- К.: Техніка, 1982.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ ІЗ ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛІЮ НАПРУГОЮ ДО 1000 В. ЛАБОРАТОРНА 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.

6.1 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 6.1 – 6.3 до кожного із трьох завдань;
- електричні схеми до кожного із завдань (до кожної таблиці).

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

Кількість схем така:

- до завдань 6.1 і 6.2 - по одній схемі;
- до завдання 6.3 їх чотири (див. умови завдання 6.3, а також умови експерименту до табл. 6.3).

При виконанні лабораторної роботи, після відповідних вимірювань, заповнюються табл. 6.1...6.3, 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.

6.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

6.2.1 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 улаштування електроустановок (ПУЕ [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.

6.2.2 Електричні мережі трифазного змінного струму із заземленою нейтраллю

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

На рис 6.1 наведена електрична схема трифазної чотирипроводової мережі із заземленою нейтраллю. Такі мережі є основними при напрузі до 1 кВ і використовуються як у побутових, так і в виробничих умовах.

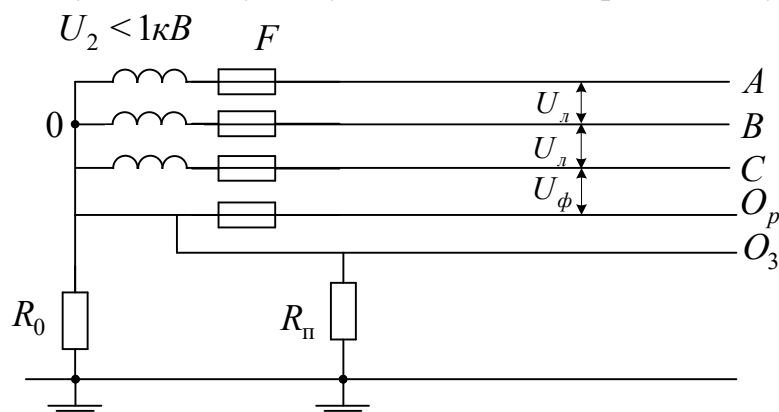


Рисунок 6.1 - Електрична схема трифазної мережі із заземленою нейтраллю: O_p - нульовий робочий провідник, O_3 - нульовий захисний провідник, R_0 - опір заземлення нейтралі трансформатора, $R_{п}$ - повторне заземлення нульового захисного провідника, U_{ϕ} - фазна напруга мережі

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 із 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 вводі у будівлю.

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

У виробничих умовах схеми із розмежуванням нульового провідника виконуються дуже рідко. Практично застосовують один нульовий 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 6.2 показані можливі варіанти дотику людини до електричної мережі при її нормальному режимі роботи.

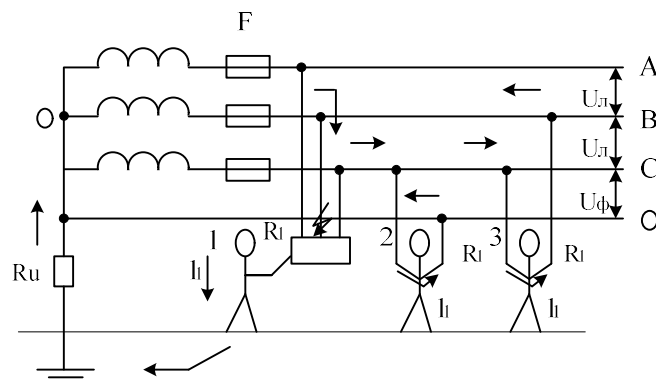


Рисунок 6.2 – Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: випадки 1,2 - однофазний дотик; випадок 3 - двофазний дотик

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,

$R_h \gg R_0$, тому

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h}, \text{ А} \quad (6.1)$$

Приклад 6.1. 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 (6.1) $I_h = 220/1000 = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА}$.

Такий струм (50 Гц) є дуже небезпечним для людини (див. таблицю Г1.1) при 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 (6.1). Але зменшити струм можна лиш за допомогою діелектричних рукавичок, ізолювання людини від землі не впливає на величину струму.

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

$$I_h = \frac{U_\lambda}{R_h}, \text{ А} \quad (6.2)$$

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_λ , 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 із 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].

6.2.3 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. 6.3) - 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. 6.3.

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

Як видно із рис. 6.3 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 вводах від повітряних ліній до електроустановок, які підлягають зануленню.

Опір заземлення нейтралі джерела живлення та повторного заземлення нормується ГОСТом 12.1.030-81 залежно від значення напруги джерела струму.

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

$$U_{\text{дот}} \leq U_{\text{гр.дон}}, \quad (6.3)$$

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

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

$$I_z \geq K \cdot I_{\text{ном}}, \quad (6.4)$$

де $I_{\text{ном}}$ - номінальний струм максимального струмового захисту;

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.

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

$$\varphi_k = I_k \cdot R_n, \text{ В}, \quad (6.5)$$

де R_n - загальний (еквівалентний) опір нульового проводу.

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

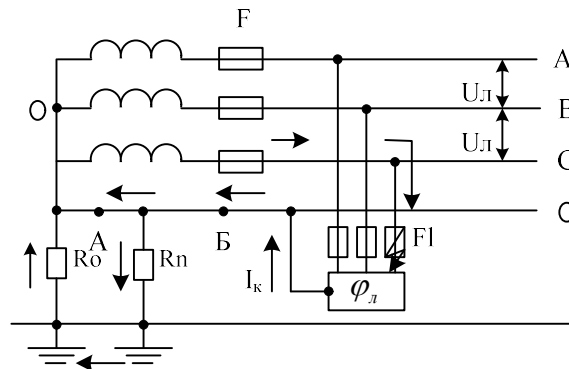


Рисунок 6.3 - Проходження струму короткого замикання I_k , при зануленні корпусу: де F - струмовий захист електроустановки

При аварійному режимі роботи, коли відбувається обрив нульового проводу в точці Б (рис. 6.3), 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:

$$\varphi_k = I_k \cdot R_n, \text{ В}, \quad (6.6)$$

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 наведені в таблиці Г1.1, 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.

6.2.4 Захисне заземлення електроустановок

У мережах із заземленою нейтраллю до 1 кВ використання занулення і захисного заземлення (рис. 6.4) 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:

$$\varphi_k = I_k'' \cdot R_3, \text{ В}, \quad (6.7)$$

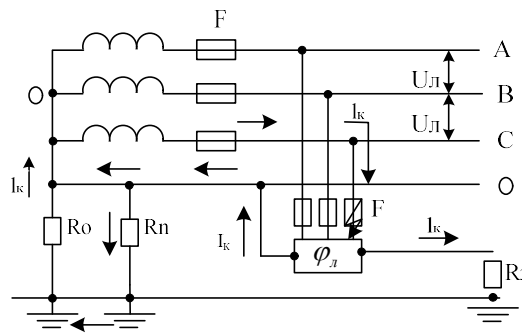


Рисунок 6.4 - Проходження струму короткого замикання I_k в мережі із заземленою нейтраллю при замиканні фазного проводу на корпус

6.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

6.3.1 Лабораторний стенд

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

Стенд універсальний і дозволяє моделювати трифазні мережі з ізольованою і заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі із 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 "

вимикається 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_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.

6.3.2 Виконання лабораторної роботи

Завдання 6.1

Дослідити характер зміни струму I_h , який тече через тіло людини залежно від її опору R_h при однофазному дотику до "пробитого" корпусу електрообладнання у мережі із 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. 6.2 і формулу (6.1)).

Підготувати табл.6.1 для внесення результатів вимірювання.

Таблиця 6.1 - 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_0 , 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 із 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, яке 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 6.2

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. 6.2 для внесення результатів вимірювань.

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

Таблиця 6.2 - 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				Більший нормативного
2000				
4000				
5000				
10 000				
5 000				Нормативний

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, 5 кОм) 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 6.1) побудувати графік залежності $I_h = f(R_h)$, який відповідає умовам цього завдання.

Завдання 6.3

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

1) при зануленні корпусу і повторному заземленні нульового проводу (див. рис 6.3, який треба доповнити зображенням людини і показати напрямком проходження струму через її тіло);

2) при зануленні корпусу, повторному заземленні нульового проводу і захисному заземленні (рис. 6.4 треба доповнити зображенням людини, показати напрямки струмів);

3) при обриві нульового проводу в точці Б (рис. 6.3, 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. 6.3, 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 6.3 і з умовами 1...5 виконання завдання 6.3. Підготувати табл. 6.3 до внесення результатів вимірювань.

Умова 1

Зібрати схему трифазної чотирипроводової мережі із 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 $R_h = 1000$ Ом;

Таблиця 6.3 - 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_0 , 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 $R_h = 1000$ Ом із табл. 6.2.

Умова 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.

Умова 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. 6.1.

Умова 4

Ввимкнути повторне заземлення нульового проводу, використовуючи вимикач " R_p ";

записати покази приладів,

зробити висновок щодо зміни струму I_h , у порівнянні з умовами 1.

Умова 5

Зібрати схему захисного заземлення корпусу електродвигуна, для чого:

ввимкнути "0 провід";

вимкнути "Зануление" і " R_p " (повторне заземлення нульового проводу);

ввимкнути 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 $R_h = 1000$ Ом із табл. 6.2;

зробити висновок відповідно до табл. 6.3: при яких умовах через

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 умову 5, передбачена помилка: замість занулення корпусу застосоване захисне заземлення.

6.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати означення електробезпеки.
2. На які категорії поділяють ПУЕ 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 із заземленою нейтраллю з розмежуванням нульового проводу, показати всі елементи мережі. Де такі мережі використовуються?
7. Зобразити електричні схеми однофазного дотику людини в мережі із заземленою нейтраллю, визначити величини струмів, які протікають через тіло людини.
8. Зобразити електричну схему занулення, пояснити, як вона 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 із 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила устрою електроустановок (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.

7 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ МЕРЕЖ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЮ 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 ізолюованою нейтраллю джерела живлення напругою до 1000 В.

7.1 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 7.1...7.4 до кожного із чотирьох завдань;
- електричні схеми до кожного із завдань (до кожної таблиці).

Складати електричні схеми необхідно за умовами кожного із завдань, поповнюючи наведені в теоретичних відомостях схеми елементами, які за цими умовами відсутні або виключаючи зайві елементи. При виконанні лабораторної роботи, після відповідних вимірювань, заповнюються табл. 7.1...7.4, 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 ізолюованою нейтраллю.

7.2 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

7.2.1 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 (ізолюована 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 чотирьопроводові. 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 чотирьопроводові мережі - це трифазні лінії, конструкції яких розглядаються далі.

7.2.2 Електричні мережі трифазного змінного струму з ізолюваною нейтраллю

Ізолюваною називають нейтраль трансформатора (нульова точка джерела живлення), яка не приєднана до пристрою заземлення (ізолювана від землі).

На рис. 7.1 наведена електрична схема трифазної трипроводової мережі з ізолюваною нейтраллю (відповідно до рис. 7.1, це знижувальна трансформаторна підстанція з ЛЕП, яка має напругу до 1 кВ і живить споживачів).

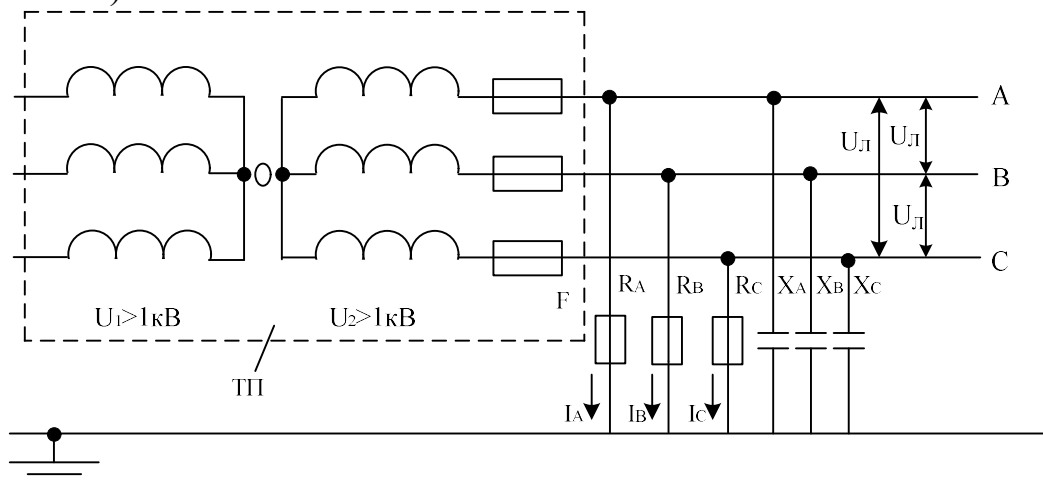


Рисунок 7.1 - Електрична схема трифазної трипроводової мережі з ізолюваною нейтраллю: U_1 , U_2 - відповідно напруги первинної і вторинної обмоток трансформатора; ТП - знижувальна трансформаторна підстанція; F - струмовий захист (запобіжники або автоматичні вимикачі); 0 - нульова, (нейтральна) точка трансформатора; А, В, С - фазні проводи мережі; U_L - 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 витоку фазних проводів

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 нехтування 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. 7.2 (перший випадок, однофазний дотик), рівнозначний її дотику до неізольованого фазного проводу. Опір тіла людини вмикається паралельно опору ізоляції того проводу, який замкнув на корпус (до якого доторкнулася людина) і послідовно з опором ізоляції інших проводів, а струм, який тече через тіло людини, визначається за формулою:

$$I_h = \frac{3U_\phi}{3R_h + R_{i3}} = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{3R_h + R_{i3}}, \text{ А} \quad (7.1)$$

де R_h - опір тіла людини.

Висновки:

1. Виходячи з формули (7.1), у випадку однофазного дотику людини до трифазної мережі змінного струму з ізолюваною нейтраллю, людина знаходиться під захистом опору 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.

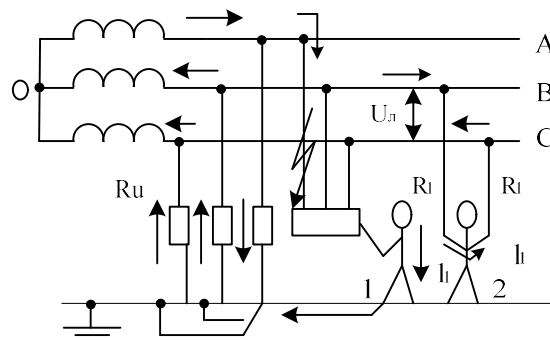


Рисунок 7.2 - Схеми дотику людини при нормальному режимі роботи мережі: 1 - однофазний; 2 - двофазний дотик

Приклад 7.1. Визначити величину струму, який тече через тіло людини при однофазному дотику до мережі з ізольованою нейтраллю. Лінійна напруга мережі $U_n = 380$ В. Опір ізоляції проводів відносно землі $R_{iz} = 500 \cdot 10^3$ Ом. Розрахунковий опір тіла людини $R_h = 1000$ Ом. Згідно з формулою (7.1) 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. 7.2, випадок 2) людина потрапляє під повну напругу мережі, а струм, який тече через тіло людини, визначається

$$I_h = \frac{U_n}{R_h}, \text{ А} \quad (7.2)$$

Висновки:

1. При двофазному дотику людини до трифазної мережі з ізольованою нейтраллю, 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 7.2. За даними прикладу 7.1 визначити величину струму, який протікає через тіло людини при двофазному дотику до мережі трифазного струму з ізольованою нейтраллю. Згідно з формулою (7.2) маємо:

$$I_h = \frac{380}{1000} = 0,38 \text{ А} = 380 \text{ мА}$$

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

7.2.3 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 ізольованою нейтраллю напругою до 1 кВ, а при напрузі вище 1 кВ у будь-яких випадках (незалежно від режиму нейтралі) [2].

На рис. 7.3 показана електрична схема захисного заземлення, 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

$$\varphi_k = I_3 \cdot R_e, \text{ В}, \quad (7.3)$$

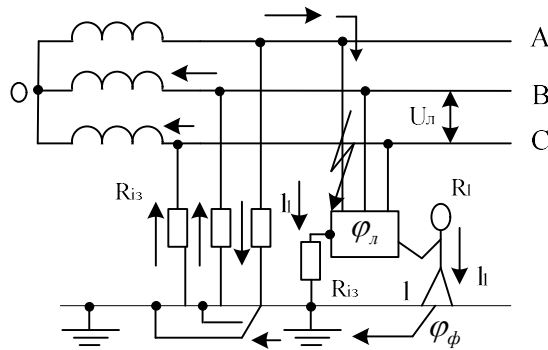


Рисунок 7.3 - Електрична схема захисного заземлення: де R_3 - опір захисного заземлення; I_3 - струм замикання; φ_k - потенціал корпусу; φ_3 - потенціал землі

Напруга дотику людини дорівнює різниці потенціалів

$$U_d = \varphi_k - \varphi_3, \text{ В}, \quad (7.4)$$

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

$$I_h = \frac{U_d}{R_h} = \frac{\varphi_3}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U_l}{3R_h + R_{i3} + \frac{R_h \cdot R_{i3}}{R_3}}, \text{ А}. \quad (7.5)$$

Якщо порівняти формулу (7.5) з формулою (7.1), то можна зробити висновок, що струм, який тече через тіло людини при використанні захисного заземлення, зменшився. Покажемо це на прикладі.

Приклад 7.3. 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 (7.5) одержуємо

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

Такий струм безпечний для людини у будь-яких випадках.

Якщо порівняти цей струм із струмом однофазного дотику (приклад 7.1), то він зменшився на два порядки.

Висновок:

При використанні захисного заземлення у мережах з ізолюваною 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 ізолюваною нейтраллю напругою до 1 кВ використовуються при підвищених умовах електробезпеки (торф'яні розробки, пересувне електрообладнання, шахти [1], тобто набагато менше мереж з заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ.

7.2.4 Електрична мережа з компенсацією ємнісних струмів витоку

Струм, що протікає через тіло людини в момент дотику її до неізолюваного 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 можна детально розглянути при полюсному замиканні на землю в струмоприймачеві (рис.7.4).

Сила струму в загальному вигляді:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 [(Y_B \cdot (1 - a^2) + Y_C(1 - a) + Y_0) / (Y_a + Y_b + Y_c + Y_0 + g_3)] \quad (7.6)$$

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 (7.6) прийме вигляд:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 [(3g + j3b) / (3g + j3b + g_3)] \quad (7.7)$$

В мережах напругою більше 1 кВ активні провідності близькі до нуля, тому

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 (j3b / (j3b + g_3)) \quad (7.8)$$

Звідси виходить, що I_3 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).

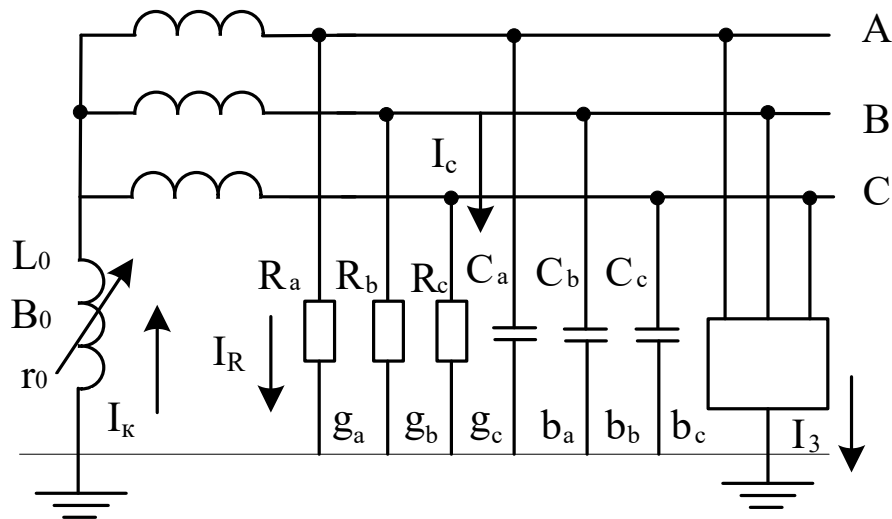


Рисунок 7.4 - Мережа, яка має компенсацію ємнісних струмів витоку: I_c - ємнісний струм витоку; I_R - активний струм витоку; I_k - повний струм компенсуючої котушки з індуктивністю L_0

Після включення котушки нейтраль трансформатора електрично з'єднана із землею через провідності котушки: активну g_k і індуктивну b_k . Тоді силу струму замикання на землю визначають з (7.6). 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. 7.4, то

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 \cdot [(3g + j(3b - b_k) + g_k) / (g_k + 3g + j(3b - b_k) + g_3)] \quad (7.9)$$

Вираз (7.9) відрізняється від (7.8) 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 при зміні 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:

$$I_3 = U_\phi \cdot g_3 \cdot [(3g + g_k) / (g_k + 3g + g_3)] \quad (7.10)$$

Векторна діаграма для цього випадку показана на рис. 7.5.

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.

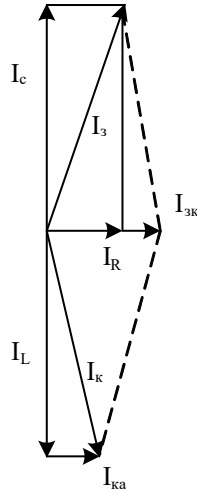


Рисунок 7.5 - Векторна діаграма струмів замикання: I_L індуктивний струм котушки, $I_{ка}$ - активний струм котушки, I_k - повний струм котушки

7.3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

7.3.1 Лабораторний стенд

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

Замість реально існуючих розподілених активних опорів і ємностей ізоляції фаз відносно землі, встановлені 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 ізольованою і заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі із 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_s " 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.

7.3.2 Виконання лабораторної роботи

Завдання 7.1. Дослідити характер зміни напруги дотику і струму, що протікає через тіло людини, в залежності від активного опору ізоляції мережі.

1. Підготувати табл. 7.1 для запису результатів вимірювань.

Таблиця 7.1

Номер	R , кОм	I_h , мА	$U_{дот}$, 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 лампи "Сеть".

4. Поставити перемикач " $R_{чел}$ " в положення І, яке відповідає опору 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 , який 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 опору 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 в початкове положення (за винятком перемикача)

Завдання 7.2. Дослідити характер зміни напруги дотику і сили струму, що протікає через тіло людини, в залежності від ємності фаз мережі відносно землі.

1. Підготувати табл. 7.2 для запису результатів вимірювань.

Таблиця 7.2

Номер	C, мкФ	I_h , мА	U_{dot} , 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 7.1.

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 7.3. Визначити ефективність компенсації ємнісних струмів витoku для підвищення електробезпеки мережі.

1. Підготувати табл. 7.3 для запису результатів вимірювань.

Таблиця 7.3

Номер	C, мкФ	I_h , мА	U_{dot} , В	Примітки
1				Без компенсації
2				З компенсацією

2. Зібрати схему згідно з п. 3 завдання 7.1.

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

- а) більший нормативного;
- б) відповідає нормативному.

1. Підготувати табл. 7.4 для запису результатів вимірювань.
2. Зібрати схему згідно з п. 3 завдання 7.1.
3. Поставити перемикачі " r_a ", " r_b ", " r_c " в положення 1.
4. Натиснути кнопку "Замыкание".

Таблиця 7.4

Номер	R, ком	I_h , мА	U_{dom} , 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, більшим 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.

7.4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати означення електробезпеки.
2. На які категорії поділяють ПУЕ 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 ізолюваною нейтраллю, показати всі елементи мережі.
7. Зобразити електричну схему однофазного дотику людини в мережі з ізолюваною нейтраллю, показати напрямки струму, зробити висновки.
8. Зобразити електричну схему двофазного дотику людини в мережі з ізолюваною нейтраллю, показати напрямки струму, зробити висновки.
9. Що таке захисне заземлення, область його використання?
10. У чому полягає захисна дія заземлення?
11. У чому суть компенсації ємнісних струмів витоку?
12. Вкажіть гранично допустимі значення струму та напруги дотику при тривалості дії струму понад 1,0 с.
13. Вкажіть значення розрахункового опору тіла людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила устроюства електроустановок (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 стандартов, 1985. - 17 с.

Навчальне видання

Є. А.Бондаренко, В.А.Дрончак, Р.Я.Дупляк,
О.В.Кобилянський, О.П.Терещенко

Охорона праці в галузі

Лабораторний практикум

Оригінал-макет підготовлено Кобилянським О.В.

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор З.В.Поліщук

Науково-методичний відділ ВНТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку
Формат 29,7 × 42 ¼
Друк різнографічний
Тираж прим.
Зам. №

Гарнітура Times New Roman
Папір офсетний
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ