

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з навчальної дисципліни

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ
ТА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

*(для студентів усіх форм навчання: бакалаврів, спеціалістів та магістрів
галузі знань 14 – Електрична інженерія,
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
професійного спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електропостачання міст та промислових підприємств» (для студентів усіх форм навчання: бакалаврів, спеціалістів та магістрів галузі знань 14 – Електрична інженерія, спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, професійного спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : В. Ф. Харченко, В. Г. Воропай, О. А. Якунін. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 70 с.

Укладачі : д-р техн. наук, проф. **В. Ф. Харченко,**
ст. викл. **В. Г. Воропай,**
асист. **О. А. Якунін**

Рецензент *Д. М. Калюжний, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова*

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 8 від 16.02.2016 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1 ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ. НЕСИНУСОЇДАЛЬНІСТЬ НАПРУГИ В ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖАХ І ВПЛИВ ЇЇ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ.....	6
2 КОЕФІЦІЄНТ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ КРИВОЇ НАПРУГИ І СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	13
3 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	17
4 ВИКОРИСТАННЯ І АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	26
5. ВИБІР КОМПЕНСУЮЧОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ НАВАНТАЖЕННЯ Й ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ВПЛИВУ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	36
6. ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ (ГПП) НА ТЕРИТОРІЇ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	43
7. ЗАЗЕМЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ І ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ.....	52
8. ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПЕТЛІ ФАЗА-НУЛЬ І СТРУМІВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ ДО 1000 В.....	61
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	69

ПЕРЕДМОВА

В методичних вказівках дано опис лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Електропостачання міст та промислових підприємств» (для студентів усіх форм навчання: бакалаврів, що навчаються за напрямом 6.050701 – Електротехніка та електротехнології, професійного спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання», бакалаврів, спеціалістів та магістрів галузі знань 14 – Електрична інженерія, спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, професійного спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання»).

Три роботи присвячені якості електроенергії, одна – використанню і аналізу методів розрахунку електричних навантажень промислових підприємств. Перші три роботи цілком охоплюють розділ з якості електроенергії в електричних мережах і засобам його забезпечення. Розглянуті процеси, що викликають погіршення якості електроенергії, названі шляхи його підвищення. В роботі по вивченню методів розрахунку електричних навантажень студент може ознайомитись з основними методами, що найбільш часто використовуються на різних етапах проектування електропостачання, порівняти їх за складністю, точністю розрахунку, показати відхилення розрахункових значень одного методу від іншого.

Для успішного виконання лабораторних робіт методичні вказівки і рекомендовану літературу студенти повинні пропрацювати заздалегідь, тобто до приходу на заняття. При виконанні лабораторних робіт необхідно строго дотримувати наступних правил безпеки:

- Перед збиранням схеми переконатися, що вимикачі, якими подається напруга, відключені.
- Після збирання схеми ще раз переконатися у правильності всіх з'єднань, звіривши їх з принциповою схемою. Запам'ятати, які відкриті частини схеми або апаратів знаходяться під напругою.

- Включити апаратуру під напругу тільки після перевірки зібраної схеми керівником і з його дозволу.
- Не торкатися струмопровідних частин, що знаходяться під напругою.
- Всі приєднання приладів і зміни схем проводити тільки після відключення апаратури від джерел живлення.
- При виникненні несправності приладів і устаткування негайно відключити апаратуру і прилади від джерел живлення і доповісти про несправність керівникові.
- Особливу обережність проявляти при роботі з ланцюгами, що містять конденсатори і котушки з великим числом витків.
- Після закінчення робіт відключити апаратуру, розібрати схему і здати робоче місце керівникові.

До виконання лабораторних робіт студенти допускаються після ознайомлення з правилами техніки безпеки. Всі розрахунки, записи показань приладів, ескізи приладів і схем, технічні дані приладів заносять в робочий зошит - один для всієї бригади. Робота вважається виконаною, якщо всі записи перевірені і завізовані керівником. Звіт повинен бути складений відповідно до методичних вказівок з оформлення звітів лабораторних робіт.

1 ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ. НЕСИНУСОЇДАЛЬНІСТЬ НАПРУГИ В ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖАХ І ВПЛИВ ЇЇ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ

1.1 Мета роботи

Вивчення основних показників якості електричної енергії і закріплення практичних навичок з розрахунку і вимірюванню за допомогою сучасних приладів.

1.2 Загальні відомості

Дотримання енергопостачаючими організаціями та електроприймачами показників якості електричної енергії дозволяє не тільки економити паливно-енергетичні ресурси, але й інші види матеріальних ресурсів, частина яких при низькому рівні якості електроенергії витрачається на продукцію, що бракується та утилізується.

У відповідності до ДСТУ показники якості електроенергії (ПЯЕ) розподіляються на 2 групи [1]: основні ПЯЕ й додаткові ПЯЕ. Основні ПЯЕ визначають властивості електричної енергії, що характеризують її якість. Додаткові ПЯЕ являють собою форми запису основних ПЯЕ, що використовуються в інших нормативно-технічних документах.

До основних ПЯЕ відносяться:

- відхилення напруги δU ;
- розмах зміни напруги δU_i ;
- доза коливань напруги Ψ ;
- коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги $K_{НСU}$;
- коефіцієнт n – гармонічної складової $K_{U(n)}$;
- коефіцієнт зворотної послідовності напруги K_{2U} ;
- коефіцієнт нульової послідовності напруги K_{0U} ;
- відхилення частоти Δf ;
- тривалість провалу напруги Δt_n ;
- імпульсна напруга $U_{имп}$.

До додаткових ПЯЕ відносяться:

- коефіцієнт амплітудної модуляції K_{mod} ;
- коефіцієнт небалансу міжфазних напруг $K_{неб}$;
- коефіцієнт небалансу фазних напруг $K_{небф}$;

Значення ПЯЕ в нормальному режимі роботи електричної мережі повинні не виходити за межі максимальних значень, що вказані ДСТУ, при цьому на протязі не менш 95% часу кожної доби значення ПЯЕ повинні не виходити за межі нормальних значень. Так, для мережі напругою до 1 кВ, відхилення напруги, %, максимальне - ± 10 , нормальне - ± 5 .

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнту несинусоїдальності у відсотках в електричній мережі за напругою

Напруга	Допустиме значення	
	нормальне	максимальне
До 1 кВ	5	10
6 – 20 кВ	4	8
35 кВ	3	6
110 кВ і вище	2	4

1.3 Несинусоїдальність напруги

Несинусоїдальність напруги характеризується наявністю крім гармоніки напруги основної частоти $U_{(1)}$ гармонік U_v інших вищих частот, кратних основній частоті ($v = 2, 3, 4 \dots \infty$), звичайно визначаємих розкладом кривої фактичної напруги в ряд Фур'є. Несинусоїдальність напруги характеризується коефіцієнтом несинусоїдальності напруги та коефіцієнтом v -ї гармонічної.

Коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги $K_{НСУ}$ обчислюється:

$$K_{НСУ} = 100\% \sqrt{\sum_{v=2}^N U_v^2} / U_{ном} \quad (1.1)$$

де U_v – діюче значення v -ї гармонічної складової напруги, В, кВ; v – порядок гармонічної складової напруги; N – порядок останньої з врахованих гармонічних складових напруги; $U_{ном}$ – номінальна напруга мережі, В, кВ.

При визначенні даного ПЯЕ допускається:

- 1) не враховувати гармонічні складові порядку $\nu > 40$ і (або) значення яких менш 0,3;
- 2) визначати даний ПЯЕ з рівняння:

$$K_{НСU} = 100\% \sqrt{\sum_{\nu=2}^N U_{\nu}^2} / U_{(1)} \quad (1.2)$$

де $U_{(1)}$ – діюче значення напруги основної частоти, В, кВ.

Коефіцієнт ν -ї гармонічної складової напруги визначається з виразу:

$$K_{U(\nu)} = 100\% U_{\nu} / U_{ном}, \quad (1.3)$$

де U_{ν} - діюче значення ν -ї гармонічної складової напруги, В, кВ; $U_{ном}$ – номінальне значення напруги мережі, В, кВ.

Допускається визначати даний ПЯЕ з виразу:

$$K_{U(\nu)} = 100\% U_{\nu} / U_{(1)}, \quad \text{де} \quad (1.4)$$

де $U_{(1)}$ – діюче значення напруги основної частоти, В, кВ.

1.4 Процеси, що викликають несинусоїдальність напруги в промислових мережах

Джерелами гармонічних викривлень в електричних системах є, в основному, навантаження, що мають нелінійні характеристики: дугові сталеплавильні печі; вентиляльні перетворювачі; трансформатори з нелінійними вольт-амперними характеристиками; перетворювачі частоти; індукційні печі; електричні машини, що обертаються, які живляться через вентиляльні перетворювачі; телевізійні приймачі; люмінесцентні лампи; ртутні лампи.

Таблиця 1.2 – Характеристики деяких характерних джерел викривлень

№№ п/п	Тип ЕП	U, кВ	$K_{НСU}, \%$
1.	Дугові сталеплавильні пічі (ДСП-100)	220 35	2,5 8-10
2.	ДСП-40	110 35	2,1 7,8
3.	Прокатний стан 1700	10	13,2
4.	Випрямлячі електролізних установок	10 0,38	8,3-12 6-8
5.	Приводи потужних насосів	6	6-9
6.	Зварювальне обладнання	0,38	7-8

1.5 Вплив несинусоїдальності напруги на роботу електроприймачів

Поява струму гармоніки з порядковим номером $\nu > 1$ виявляється поверхневим ефектом (витискання струму до поверхні провідника), що призводить до додаткових втрат тепла, нагріванню ізоляції ЕП й апаратів в електричній мережі та зниженню їх строку служби. Так струм витoku в кабелях зростає пропорційно тривалості їх роботи в умовах підвищеного значення $K_{НСU}$. Через 2,5 роки при $K_{НСU} = 6-8\%$ струм витoku кабелю збільшується на 36%, через 3,5 роки струм витoku дорівнює вже на 43%.

Проникнення вищих гармонік в мережу призводить до порушень роботи пристроїв телемеханіки, автоматики, релейного захисту. В мережі можливо також виникнення резонансних режимів на вищих гармоніках, при цьому різко зростають струми й напруги на окремих ділянках мережі.

Розрахункові вираження для додаткових втрат, що виникають в електрообладнанні з-за несинусоїдальності напруги, мають такий вигляд [2]:

1) для асинхронних двигунів:

$$\Delta P_{ад} = \Delta P_{м1ном} I_n^2 \sum_{\nu=3}^{\infty} \dot{U}_{\nu}^2 \frac{\sqrt{\nu} + \sqrt{\nu \pm 1}}{\nu^2} \quad (1.5)$$

де $\Delta P_{м1но с}$ – втрати в міді статора при номінальному струмі основної частоти; I_n – кратність пускового струму при номінальній напрузі основної частоти; $\dot{U}_{\nu} = U_{\nu} / U_{ном}$ - відносне значення напруги ν -ї гармоніки.

Плюс під знаком кореню у вищенаведеному виразі відповідає гармонікам, що створюють поле обертання, зустрічні полю основної частоти, а мінус – гармонікам, що створюють поля обертання, побіжні полю основної частоти;

2) для синхронних машин (СМ) додаткові втрати в роторі:

$$\Delta P_p = \frac{\sqrt{2}(r_2 - r_{cm})}{R_x^2 X_2^2} P_{ном} \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{U_{\nu}^2}{\nu \sqrt{\nu}}, \quad (1.6)$$

де r_2, x_2 – активний і реактивний опір зворотної послідовності СМ; r_{cm} – активний опір статора; R_k – коефіцієнт, який дорівнює 0,71 для явнополюсних машин і 0,88 – для неявнополюсних.

Додаткові втрати в статорі СМ від вищих гармонік:

$$\Delta P_{cm} = K_{cm} P_{ном} \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} \quad (1.7)$$

де $K_{cm} = \frac{0,47 P_{ном}}{R_x^2 X_2^2 P_{ном}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати в міді обмотки від

струму основної частоти, а також глибину проникнення струму в провідник;

3) для силових трансформаторів:

$$P_{mp} = \Delta P_x \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2 + 0,607 \frac{\Delta P_k}{U_k} \sum_{v=2}^{\infty} \frac{1 + 0,05 v^2}{v\sqrt{v}} U_v^2 \quad (1.8)$$

де ΔP_k , $\Delta P_{кз}$, U_k – розрахункові дані трансформатора;

4) для лінії електропередачі:

$$P_{ЛЕП} = 3 \sum_{v=2}^{\infty} I_v^2 r K_{rv} \quad (1.9)$$

де K_{rv} – коефіцієнт, що враховує вплив поверхневого ефекту ($K_{rv} \approx 0,47 \sqrt{v}$).

1.6. Засоби виміру несинусоїдальності напруги

Виміри показників несинусоїдальності напруги мережі здійснюються аналізатором гармонік електричної мережі 43250. Він контролює: коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги; відносні рівні кожної з тридцяти дев'яти вищих гармонік напруги від другої до сорокової, відносно номінального значення дослідної напруги основної частоти; відносні рівні кожної з тридцяти дев'яти вищих гармонік струму від другої до сорокової відносно до нормованого максимального значення дослідного струму основної частоти; фази струму і напруги кожної з тридцяти дев'яти вищих гармонік, від другої до сорокової, виміри робляться в градусах фази гармоніки, що аналізується.

1.6.1 Порядок роботи:

1. Включити кнопку «U»
2. Подати сигнал на рознімання «U»
3. Встановити обраний режим роботи за допомогою кнопок K_{hc} , A_r або φ_r .
4. При вимірюванні K_{hc} необхідно встановити діапазон вимірювань (0–40, 0–20, 0–10, 0–5%).

Діапазон вимірювання обирається виходячи з рівня вимірюваного параметру. На перевантаження, при не вірно обраному діапазоні вимірювання, вказує миготіння цифрового індикатора або перевищення показань цифрового індикатора максимально крайнього значення обраного діапазону вимірювань.

5. При вимірюванні відносного рівня гармонік напруги необхідно встановити номер вимірюваної гармоніки і діапазон вимірювання (0–40, 0–20, 0–10, 0–5%).

6. При вимірюванні фази гармоніки напруга (φ_r) необхідно встановити номер вимірюваної гармоніки та діапазон вимірювань (0–40, 0–20, 0–10, 0–5%).

7. При вимірюванні параметрів струмів електричної мережі (A_r , φ_r) потрібно включити кнопку «I»

8. Подати сигнал на рознімання «I». Сигнал на аналізатор подається через шунт, що входить в комплект поставки.

9. Встановити обраний режим роботи за допомогою кнопок A_r або φ_r .

10. При вимірюванні відносного рівня гармонік або фази гармоніки струму необхідно встановити номер гармоніки і діапазон вимірювань.

1.7 Порядок виконання роботи

За вказівкою викладача потрібно підключити одне з навантажень на стенді: тиристорний регулятор (ТР), нелінійне навантаження (НН); вентильний перетворювач (ВП), до джерела живлення ДЖ.

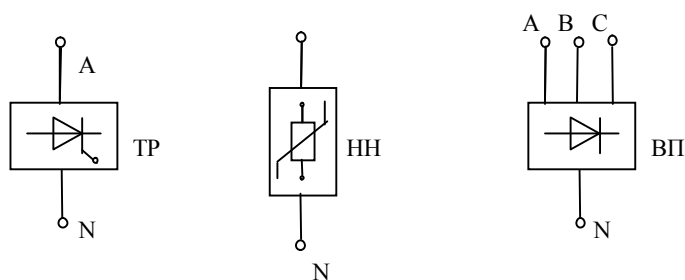


Рисунок 1.1 – Навантаження, що використовується в лабораторній роботі

Підключивши аналізатор гармонік, наприклад, до виходу тиристорного регулятора, на вхід « U » вимірюють по чергово коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги і відносні значення кожної з тридцяти дев'яти гармонік. За вказівкою викладача кількість дослідних гармонік може бути зменшена до 13.

Показники приладу записати в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Показники приладу

Величина, що вимірюється	Номер гармоніки, ν													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
K_{nc}														
$K_{U(\nu)}A_r$														
$(I_\nu) U_\nu$														

Вимірювання несинусоїдальності напруги проводять для різноманітних кутів регулювання напруги регулятора ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$). Кут регулювання задається викладачем.

Для отриманих значень порахувати додаткові втрати в трансформаторі при живленні несинусоїдальним навантаженням по виразу (1.8). Вихідні дані для розрахунку використовувати з таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Вихідні дані для розрахунку

Тип і потужність трансформатора	Напруга, кВ	$\Delta P_{к.з.}$, кВт	$\Delta P_{х.х.}$, кВт	$U_{к.з.}$, %
ТМ-630	10/0,4	7,6	2,27	5,5
ТМ-1000	10/0,4	11,6	3,3	5,5
ТМ-1600	10/0,4	16,5	4,5	5,5
ТМ-2500	10/0,4	23,5	6,2	5,5

Потужність трансформатора вказується викладачем.

1.8. Оформлення звіту

Звіт повинен вміщувати параметри вимірювань однієї з включених навантажень за вказівкою викладача.

Розрахункові дані по додатковим втратам трансформатора при живленні несинусоїдальною напругою. Потужність трансформатору, що використовується, вказується також викладачем. Висновки повинні вміщувати аналіз отриманих результатів, способи і методи покращення якості напруги.

Контрольні запитання

1. На які групи діляться ПЯЕ?
2. Назвіть основні ПЯЕ?
3. Як визначається несинусоїдальність кривої напруги?
4. Як впливає несинусоїдальність напруги на роботу окремих електроприймачів?
5. Які параметри вимірює аналізатор гармонік електричної мережі?

2 КОЕФІЦІЄНТ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ КРИВОЇ НАПРУГИ І СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

2.1 Мета роботи

Ознайомлення з практичною обробкою одного з основних показників якості електричної енергії.

2.2 Загальні відомості

Значення показників якості електроенергії, що встановленні ГОСТ 13109-87, в нормальному сталому режимі не повинні виходити за нормальні значення на протязі 95% часу кожної доби і не повинні виходити за максимальні значення на протязі 5% часу доби. Значення для коефіцієнта несинусоїдальності наведені в лабораторній роботі № 1. Виміряти ПЯЕ й час їх зміни можна, але робота ця надзвичайно стомлює і дає великі помилки. Однак, якщо розглянути цей процес

як випадковий, можна, користуючись методом теорії ймовірностей і математичної статистики, одержати об'єктивну характеристику зміни ПЯЕ.

Дискретне значення ПЯЕ вимірюють на кінцевому інтервалі часу (одна доба) і таким чином одержують кінцеве число таких вимірів n , кожне з яких розглядається як випадкова величина K_i . Якщо кількість вимірів n було одержано m разів так, що $K_{i1} \leq K_i \leq K_{i2}$, то вірогідність такої події дорівнює:

$P_{(K_i)} = m/n$, а при оцінюванні ПЯЕ вірогідність можна розрахувати у відсотках

$$P_{(K_i)\%} = (m/n)100\% \quad (2.1)$$

При оцінюванні показників якості електричної енергії звичайно використовують функції, що мають три види розподілення: рівномірне, нормальне й експоненціальне.

Якщо функція має рівномірне розподілення на інтервалі $[a, b]$, то її щільність ймовірності в середині цього інтервалу постійна, а поза його дорівнює нулю. Таке розподілення можливе лише для режимів, що практично не змінюються за часом, а функція має вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{(b-a)}$$

Функція має нормальне розподілення (розподілення Гаусса), якщо її щільність ймовірності має вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x-a)^2/(2\sigma^2)} \quad (2.2)$$

де a и σ - параметри розподілення. Параметр a – точка, через яку проходить вісь симетрії, а σ - відстань від цієї точки до точки перегину. Якщо σ мала, то крива висока і загострена, якщо велика – то вона широка й пласка (рис. 2.1). Таким розподіленням звичайно характеризуються зміни відхилень напруги.

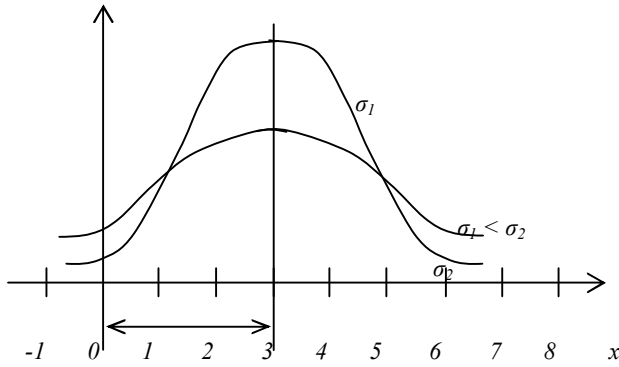


Рисунок 2.1 – Нормальний розподіл щільності ймовірності

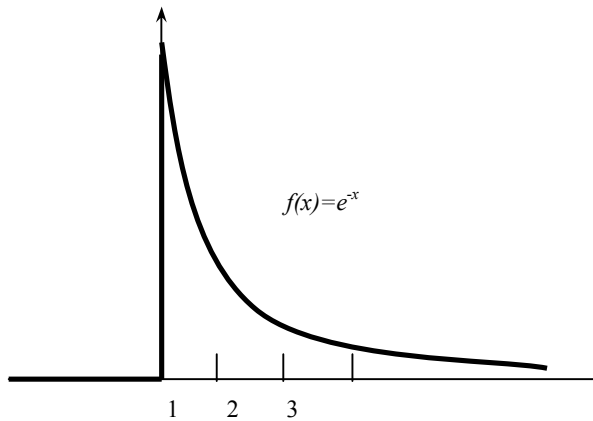


Рисунок 2.2 – Експоненціальне розподілення щільності ймовірності

Функція має експоненціальне розподілення, якщо її щільність ймовірності має вигляд (рис. 2.2):

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{при } x \geq 0 \\ 0 & \text{при } x < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Математичне очікування визначає положення центру ваги розподілення маси, яке задається щільністю розподілення маси $f(x)$:

$$MX = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx \quad (2.4)$$

тому для рівномірного розподілення:

$$MX = \int_a^b x \frac{1}{b-a} dx = \frac{b+a}{2} \quad (2.5)$$

для нормального розподілення:

$$MX = a \quad (2.6)$$

для експоненціального розподілення:

$$MX = 1/\lambda \quad (2.7)$$

Користуючись властивостями безліч, встановлених теорією ймовірностей, оперують з так званими вибірками. Вибірki являють собою випадкові величини, обрані за визначеною ознакою. Так, наприклад, з безлічі вимірів напруги можна зробити вибірку тільки тих, що характеризують відхиленням напруги або тільки його несинусоїдальністю.

2.3 Порядок роботи

Ознайомитись з роботою приладу «Аналізатор гармонік електричної мережі 43250» за п. 1.6.1 в лабораторній роботі № 1.

За вказівкою викладача підключити одне з навантажень на стенді. Підключити аналізатор до виходу навантаження й підготувати прилад до роботи. Робимо розбивку інтервалу виміру на 10 та підраховуємо число m , що лежать в кожному інтервалі. Таблицю спостережень зводимо в таблицю вимірів.

Таблиця 2.1 – Виміри $K_{НС}$ в системі електропостачання

№ інте- рвалу	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$K_{НСU}, \%$	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
$P_{K_{НСU}}, \%$										

Ймовірність $P_{K_{НСU}}, \%$ визначаємо з виразу (2.1). Визначимо математичне очікування за виразом:

$$MX = \sum_i K_{НСU_i} P_{K_{НСU_i}} \quad (2.8)$$

2.4 Оформлення звіту

Звіт повинен містити заповнену таблицю 2.1 і побудовану за нею гістограму розподілення ймовірностей замірів з відміткою на ній математичного очікування.

Висновки.

Контрольні питання

1. Які методи використовуються при контролі якості електричної енергії?
2. Як здійснюється побудова таблиці спостережень?
3. Як побудувати гістограму розподілення ймовірностей замірів $K_{НС}$?

3 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

3.1 Мета роботи

Ознайомлення з методами статистичного контролю якості напруги і придбання практичних навиків використання статистичного аналізатора якості напруги САКН-1.

3.2 Загальні відомості

3.2.1 Зміст роботи

Нормальна робота електроприймачів забезпечується за наявності на їх затискачах певної напруги. Будь-яке відхилення напруги від цього значення, яке називається номінальною напругою приймача, позначається негативно на роботі приймачів і приводить, кінець кінцем, до народногосподарського збитку.

У зв'язку з цим ГОСТ 131099-87* встановлює межі допустимих відхилень напруга, яка виражається у відсотках номінальної напруги.

Допустимий рівень напруги забезпечується раціональним побудова мережі і вибором її параметрів, а також відповідним регулюванням напруги на шинах джерела живлення або застосуванням місцевих засобів регулювання напруги.

Для розробки графіка або закону регулювання напруги в процесі експлуатації мережі повинен проводитися систематичний контроль напруги в мережі.

Такий контроль полягає в періодичному вимірюванні напруги на збірних шинах 0,38 кВ ТП, на введеннях в житлові будинки і до споживачів; вимірюванню напруги в контрольних точках мережі; веденню карт напруги і перевірка виконання заданого графіка напруги на шинах джерел живлення.

Вимірювання напруги в контрольних точках проводиться реєструючими вольтметрами або статистичними аналізаторами.

У справжній лабораторній роботі розглядаються питання дослідження зміни напруги в контрольних точках за допомогою статистичного аналізатора якості напруги типу САКН-1. Вказаний прилад фіксує число відхилень напруги від номінального або якогось середнього значення в заданих інтервалах через рівні проміжки часу за весь період вимірювання. Діапазон вимірюваних відхилень напруги розбитий на вісім інтервалів, ступенями через 2,5%. Регулювання часу – в межах від 10 до 150 с.

При статистичній обробці проводиться визначення середнього значення відхилення напруги (математичне очікування) у відсотках, а також дисперсії або стандарту, що характеризують розкид відхилень напруги біля середнього значення. Для приладу САКН-1 середнє значення визначається по формулі

$$V = V_0 + \Delta V * A. \quad (3.1)$$

Тут V_0 – значення відхилення напруги для середини нульового інтервалу %; Δv – ширина інтервалу %; A – проміжний коефіцієнт

$$A = \sum_1^{\infty} P_i \varpi_i, \quad (3.2)$$

де P_i і ϖ відповідно вірогідність і умовний номер інтервалу.

Вірогідність кожного зміряного значення відхилення напруги (P_i) визначається як відношення числа спрацьовувань в межах кожного інтервалу до загального числа спрацьовувань приладу:

$$P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}. \quad (3.3)$$

За нульовий інтервал приймається найбільш близький до середині гістограми. Цьому інтервалу привласнюється номер 0. Решту інтервалів отримують умовні номери: зліва – негативні, справа – позитивні, такі, що зростають на одиницю.

Згідно ГОСТ 13109-87*, сумарна вірогідність знаходження відхилень напруги в допустимих межах повинна складати не менше 0,95.

Сума вірогідності відхилення напруги в заданих допустимих межах визначається як сума вірогідності відхилень напруги в інтервалах, розташованих в заданому діапазоні.

Допустимий діапазон відхилень напруги в контрольній крапці повинен визначатися залежно від допустимого відхилення напруги на затискачах електроприймачів, з урахуванням втрат напруги в живлячих лініях 0,38 кВ. В результаті допустимий діапазон відхилення у відсотках в контрольній крапці:

верхня межа

$$V_e = V_+ + \Delta U_{\delta}, \quad (3.4)$$

нижня межа

$$V_n = V_- + \Delta U_{\delta}, \quad (3.5)$$

де V_+ і V_- – допустимі відхилення напруги на затискачах електроприймача, %; ΔU_e і ΔU_{δ} – втрати напруги в мережі 0,38 кВ від контрольної точки відповідно до найближчого і найбільш видаленого електроприймача %.

При розробці заходів щодо поліпшення якості напруги рекомендується установка реєструючого вольтметра, який на відміну від приладу САКН-1 показує точний відрізок часу, протягом якого спостерігається неякісна напруга. Останнє дозволяє правильніше визначати необхідні заходи щодо поліпшення напруги.

3.2.2. Технічні дані приладу САКН-1 і інструкція по виробництву вимірювань і обробці результатів

Прилад забезпечує можливість контролю середнього значення змінної напруги частоти 50 Гц з номінальними значеннями, що діють, 100, 127, 220 і 380 В. Вибір номінальної напруги здійснюється перемикачем «НАПРУГА».

Весь контрольований діапазон відхилень напруги розбитий на вісім інтервалів. Кожному інтервалу відповідає свій цифровий індикатор-лічильник. Значення меж інтервалів вибирається штекерами на матриці «МЕЖІ ІНТЕРВАЛІВ» з наступного ряду: 85,00; 88,75; 90,00; 92,5; 95,00; 96,25; 97,50; 98,75; 100,00; 101,25; 102,50; 103,75; 105,00; 107,50; 110,00; 111,25; 115,00%, причому межа 100,00%, що визначає значення напруги, званої надалі опорним, завжди відповідає межі між четвертим і п'ятим інтервалами. Прилад забезпечує можливість зрушення перемикачем «ЗРУШЕННЯ %» контрольованого діапазону напруги ступенями через 2,5% на величину $\pm 10\%$ від вибраної номінальної напруги.

Фіксація інтервалу, в якому знаходилася у момент контролю досліджувана напруга, здійснюється цифровими індикаторами автоматично через задані проміжки часу. Скидання на нуль свідчень індикаторів не передбачається.

Зникнення напруги в контрольованій мережі не приводить до втрати накопиченої інформації.

Конструкцією передбачено як суміщене, так і роздільне живлення вимірювальних і силових ланцюгів приладів. Живлення силових ланцюгів при роздільному живленні вимірювальних і силових ланцюгів повинне здійснюватися змінною напругою 220 ± 33 В частоти 50 Гц незалежно від величини опорної напруги.

Основна відносна погрішність перемикачів «НАПРУГА» і «ЗРУШЕННЯ %» не перевищує кожна окремо $\pm 0,25\%$ від відповідної номінальної напруги.

У приладі передбачена можливість компенсації основних відносних погрішностей перемикачів «НАПРУГА» і «ЗРУШЕННЯ %» у будь-якому їх положенні потенціометром «КОРЕКЦІЯ».

Діапазон регулювання витримки часу між моментами контролю перекривається двома під діапазонами за допомогою тумблера «МЕНШЕ-БІЛЬШЕ» і потенціометра «ЧАС».

Найбільша витримка часу не менше 150, найменша – не більше 10 с.

Перед включенням приладу вибирається діапазон вимірювання і проводиться розбиття діапазону на розряди. Вибір діапазону вимірювань залежить від місця установки приладу і наявності попередньої інформації про можливі відхилення напруги в цьому місці. Діапазон вимірювань рекомендується розбивати на однакові розряди.

Після установки розрядів в бланку вимірювань (табл. 3.1), який повинен бути заготовлений заздалегідь, записуються межі розрядів і витримка часу.

Таблиця 3.1 – Стандартний бланк для заповнення при виробництві вимірювань

№ п/п	Дата, час вимірювання	Свідчення лічильників							
		1	2	3	4	5	6	7	8

Значення меж інтервалів ΔU %

$$\Delta t = \dots; \quad U_{ж.к.} = \dots,$$

де Δt – встановлена витримка часу приладів, знання якої необхідне для перевірки правильності роботи приладу і вибору діапазону контролю; $U_{ж.к.}$ – бажана середня напруга в k -тій точці мережі.

Якщо діапазон вимірювань був вибраний невдало, необхідно його замінити і занести в бланк вимірювань нові значення меж.

Побудову гістограми і отримання її числових характеристик розглянемо на конкретному прикладі.

В результаті вимірювання отримані наступні дані зведено до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Дані вимірювань

Дата, час вимірювання	Свідчення лічильників							
	1	2	3	4	5	6	7	8
20.X1 12.00	0328	4321	7283	3925	5895	3917	6181	9204
21.X1 12.00	0375	4531	8001	5073	6469	4060	6229	9204
Значення меж інтервалів	-10,0	-7,5	-5,0	-2,5	0	+2,5	+5,0	+7,5
$\Delta U \%$	-7,5	-5,0	-2,5	0	+2,5	+5,0	+7,5	+10,0

Встановлена витримка приладу $\Delta t = 30$ с.

Перевіряємо справність роботи лічильників і правильність вибраного діапазону контролю, для чого обчислюємо середню витримку часу за весь час вимірювань і порівнюємо її зі встановленою:

Різниця між Δt і Δt_{cp} неістотна. Прилад справний, діапазон вибраний правильно.

Розраховуємо вірогідність, нумеруємо розряди і будуємо гістограму (рис. 3.1).

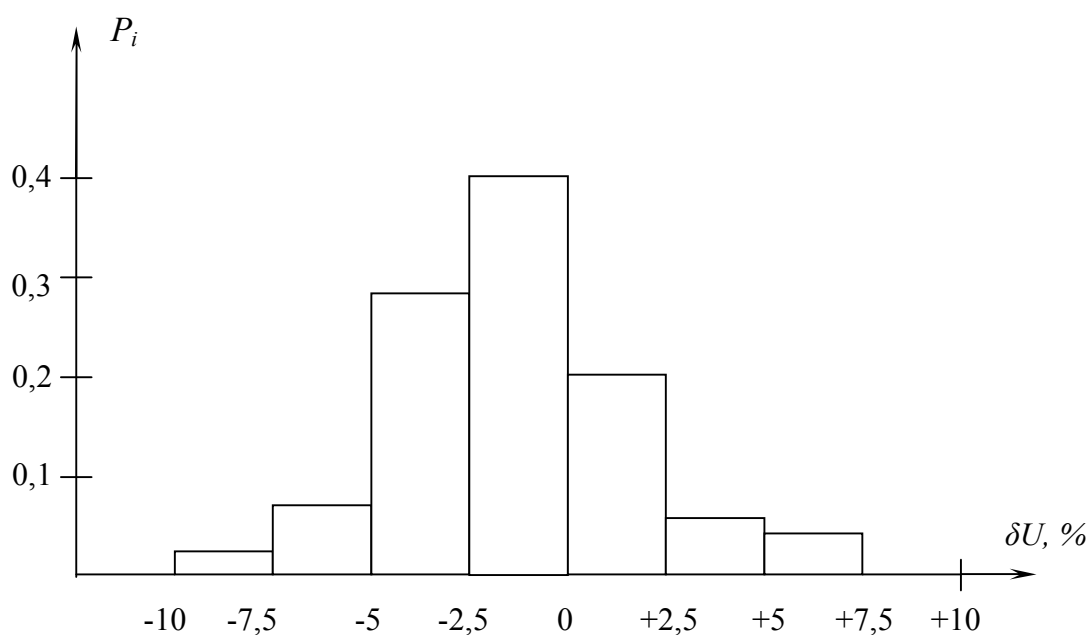


Рисунок 3.1 – Гістограма відхилень напруги

Розраховуємо проміжні величини і числові характеристики гістограми:

$$\bar{A} = -0,01 * 3 - 0,073 * 2 - 0,25 * 1 + 0,2 * 1 + 0,017 * 3 = -0,075;$$

$$U = -1,25 + 2,5 * (-0,075) = -1,438\%$$

Результати обчислень заносимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати обчислень

Значення меж інтервалу %	-10,0 -7,5	-7,5 -5,0	-5,0 -2,5	-2,5 0	0 +2,5	+2,5 +5,0	+5,0 +7,5	+7,5 +10,0
Значення середини інтервалів %	-8,75	-6,25	-3,75	-1,25	+1,25	+3,75	+6,25	+8,75
Номер інтервалу	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
Вірогідність	0,01	0,073	0,25	0,4	0,2	0,05	0,017	0,000

При необхідності визначення дисперсії відхилення напруги (D), стандарту відхилення (y) і неоднаковості напруги (N) застосовуємо формули:

$$D = \Delta \bar{U}^2 D_A - \frac{1}{12} [(\%)^2], \quad (3.6)$$

де $\Delta \bar{U}$ - ширина інтервалу %; $ТАК$ – проміжна величина

$$D_A = \sum_1^{\infty} P_i \varpi_i^2 - (\bar{A})^2 ; \quad (3.7)$$

$$\sigma = \sqrt{D} ; \quad (3.8)$$

$$N = \sum P_i U_i^2 . \quad (3.9)$$

Тут U_i – величина середини i -го інтервалу.

Для даного прикладу:

$$ТАК = 0,01 * 9 + 0,073 * 4 + 0,25 * 4 + 0,2 * 1 + 0,05 * 4 + 0,017 * 9 - 0,075 =$$

$$= 1,185 - 0,006 = 1,179;$$

$$D = (25)^2 \times 1,179 - 1/12 = 7,277(\%)^2;$$

$$y = 7,277 = 2,7\%;$$

$$N = 7,277 + (-1,438)^2 - 9,34(\%)^2.$$

Припустимо, що для точки мережі, в якій проводилися вимірювання, допустимий діапазон відхилень напруги $\pm 5\%$ від номінального. З гістограми видно, що в цей діапазон напруги потрапляє всього лише 90% всього часу, тобто вірогідність знаходження відхилень напруги в допустимих межах складає 0,9..

Це нижче нормованого на 0,05.

3.3.3 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему по рисунку 3.2.
2. Встановити по рекомендації керівника час вимірювань, діапазон вимірювань і розбити його на однакові розряди.
3. Заповнити перший і третій рядки бланка вимірювань (див. табл. 3.1).
4. Включити лабораторну установку на якийсь час, вказане керівником.
5. Після закінчення заданого часу провести запис свідчень лічильників в другий рядок бланка вимірювань.
6. Визначити вірогідність свідчення лічильників по виразу (3.3).
7. Визначити значення середини інтервалу.
8. Результати розрахунків занести в таблицю за зразком таблиці 3.3.
9. Побудувати гістограму відхилень напруги.
10. Визначити вірогідність знаходження відхилень напруги в допустимих межах.
11. Визначити математичне очікування відхилення напруги, дисперсію і стандарт відхилення.
12. Сформулювати висновки до результатів вимірювання і обробки результатів вимірювань.

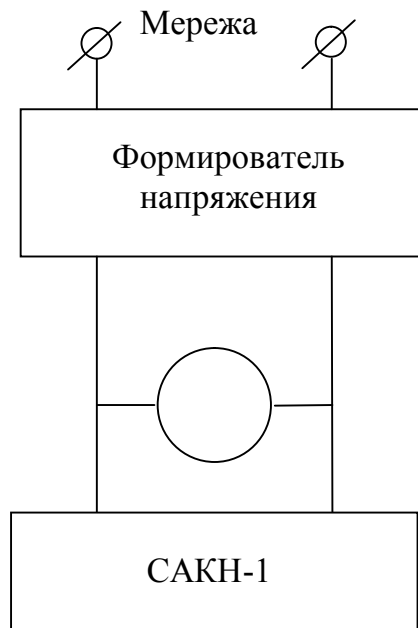


Рисунок 3.2 – Схема підключення приладу САКН-1 до лабораторної установки

3.4 Оформлення звіту

Звіт повинен містити:

- схему вимірювання;
- результати вимірювань;
- результати розрахунків;
- виводи.
-

Контрольні питання

1. Вимоги ГОСТ 13109-87* до якості електроенергії у споживача.
2. Вплив відхилення напруги на роботу електроприймачів.
3. Принцип дії статистичних приладів контролю параметрів режиму роботи мережі.
4. Застосування математичних методів обробки статистичної інформації.

4 ВИКОРИСТАННЯ І АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

4.1 Мета роботи

Ознайомитись з основними методами розрахунку електричних навантажень промислового підприємства.

4.2 Загальні відомості

Вірне визначення очікуваних електричних навантажень при проектуванні елементів системи електропостачання є основою для раціонального рішення всього комплексу питань, пов'язаних з електропостачанням промислового підприємства. Завищення розрахункових навантажень приводить до перевитрат матеріалу дротів мережі, збільшенню потужності трансформаторів і, отже, до подорожчання систем електропостачання. Зниження розрахункових навантажень веде до зменшення пропускної спроможності електричних мереж і може викликати порушення нормальної роботи силових і освітлювальних електроприймачів.

Тому очікувані електричні навантаження бажано визначити при проектуванні як можна точніше.

Однак унаслідок недостатньої щільності, точності й вірогідності вихідної інформації про всі багаточисельні випадкові фактори, що формують навантаження, вони не можуть біти визначені с високою точністю. Звичайно при визначенні очікуваних навантажень вважають припустимими помилки в межах $\pm 10\%$.

В практиці проектування використовують такі методи визначення розрахункових навантажень.

4.3 Основні методи розрахунку електричних навантажень

4.3.1. По річній витраті активної потужності

а) при наявності даних про питомі витрати електроенергії на одиниці продукції в натуральному виразі w_{num} й продукції, що випускається, M за формулою:

$$P_p = w_{num} M / T_M \quad (4.1)$$

де T_M – річна кількість годин вирокистання максимуму активної потужності;

б) при наявності даних про питомих щільностях максимального навантаження на квадратний метр площини цеху P_{num} та заданій величині цієї площини F за формулою:

$$P_p = P_{num} F \quad (4.2)$$

в) при наявності даних про питомі витрати для окремих агрегатів за формулою:

$$P_p = \sum w_{num} M / T_M + P_y \quad (4.3)$$

де P_y – встановлена потужність загальноцехових електроприймачів.

4.3.2 Метод коефіцієнту попиту

Застосовується при визначенні навантаження підприємства в цілому на стадії проектного завдання й при інших орієнтовних розрахунках за середніми коефіцієнтами попиту K_c за формулою:

$$P_p = K_c P_y \quad (4.4)$$

Величина K_c приймається однаковою для електроприймачів однієї групи, що працюють в одному режимі, незалежно від кількості і потужності окремих приймачів. Значення коефіцієнта попиту приводиться для машинобудівної галузі в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнта попиту

Електроприймачі	Коефіцієнти		
	K_U	$\cos \varphi$	K_C
Металорізальні станки, дрібні токарні, стругальні, свердлильні, фрезерні і т.д.	0,12-0,14	0,4-0,5	0,14-0,16
Те саме, при важкому режимі роботи: штампувальні преси, автомати, револьверні, обдирні, а також круглі токарні, стругальні, фрезерні і т.д.	0,17-0,2	0,65	0,23-0,28
Те саме, з особливо важким режимом роботи: приводи молотів, кувальні машини, волочильних станків, очисних барабанів та ін.	0,24	0,65	0,4
Крани мостові, грейферні, кран-балки, тельфери, ліфти	0,15-0,35	0,5	0,2-0,5
Вентилятори, санітарно-гігієнічна вентиляція, насоси, компресори, двигуни-генератори	0,65-0,8	0,8	0,75

4.3.3 Метод упорядкованих діаграм

Метод застосовується для всіх рівнянь системи електропостачання й не залежно від стадії проектування. Розрахункове навантаження визначається за формулою:

$$P_p = K_M K_{II} P_H \quad (4.5)$$

де P_M – сумарна активна потужність робочих електроприймачів; K_{II} – груповий коефіцієнт використання активної потужності за найбільш завантажену зміну (див. табл. 4.1); K_M – коефіцієнт максимуму активної потужності. Цей коефіцієнт знаходиться в табл. 4.2 залежно від величини групового коефіцієнту використання K_{II} і так званої ефективної кількості електроприймачів групи n_e .

Ефективною кількістю електроприймачів n_e називається така кількість однорідних за режимом роботи електроприймачів однакової потужності, яка дає ту ж величину розрахункового максимуму P_p , що й група електроприймачів, різних за потужністю та режиму роботи, знаходиться за формулою:

$$n_e = \left(\sum_{i=1}^n P_H \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_H^2 \quad (4.6)$$

де P_H – номінальна потужність окремих ЕП.

Значення коефіцієнтів максимуму K_M для різноманітних коефіцієнтів використання K_H залежно від n_e наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти максимуму K_M для різних коефіцієнтів використання K_H залежно від n_e

n_e	Значення K_M при K_H								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09
8	1,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08
9	2,56	2,2	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07
18	1,91	1,7	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,06
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,19	1,13	1,1	1,05
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,1	1,1	1,09	1,06	1,3
80	1,25	1,2	1,15	1,11	1,11	1,1	1,08	1,06	1,03
90	1,23	1,18	1,13	1,1	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02
160	1,16	1,13	1,1	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02
180	1,16	1,12	1,1	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01

При $n_e > 200$ $K_M \approx 1,0$

Розрахункове реактивне навантаження визначається за формулою

$$Q_p = L_M K_H \operatorname{tg} \varphi_{CM} P_H \quad (4.7)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_{CM}$ – середньозважений $\operatorname{tg} \varphi$ за потужністю окремих ЕП; L_M – коефіцієнт максимуму за реактивним навантаженням.

Для груп ЕП з рівномірним графіком навантаження приймають $L = 1,05$ для будь-якого n_e . Для груп ЕП з нерівномірним графіком навантаження числові значення вибирають залежно від K_H і n_e за таблицею 4.3.

Таблиця 4.3 – Значення коефіцієнта максимуму за реактивною потужністю L_M залежно від K_H і n_e

K_H	$> 0,2$		$\leq 0,2$	
n_e	≤ 10	> 10	≤ 100	> 100
L_M	1,1	1,0	1,1	1,0

При використанні цього методу рекомендується наступний порядок розрахунку:

1 Визначається кількість розрахункових вузлів N . Для електричної схеми це може дорівнювати кількості радіальних шинопроводів, підключених до цехової трансформаторної підстанції.

2 Всі електроприймачі по кожному розрахунковому вузлу розбиваються на групи за режимами роботи. Першу групу складають з електроприймачів зі змінним графіком навантаження, а другу складають з практично постійним графіком навантаження.

3 По групі сумується кількість і номінальна потужність електроприймачів.

4 З таблиці 4.1 знаходимо по кожному найменуванню електроприймачів K_H і $\cos \varphi$.

5 За формулами знаходиться середня потужність по кожному найменуванню:

$$P_c = K_H P_H \quad \text{і} \quad Q_c = P_c \operatorname{tg} \varphi \quad (4.8)$$

- 6 По групі сумується середня потужність.
- 7 По кожній групі визначається за формулою (4.6) n_e .
- 8 За таблицями 3.2 і 3.3 визначаються L_M і K_M .
- 9 Визначаються розрахункові активна і реактивна потужність по групі:

$$P_p = K_M P_c \quad \text{і} \quad Q_p = L_M Q_c \quad (4.9)$$

10 Визначається повна потужність по групі S_p .

11 По групі визначається груповий коефіцієнт використання

$$K_H = \frac{\sum P_c}{\sum P_H} \quad (4.10)$$

де $\sum P_c$ – сума середніх потужностей по групі; $\sum P_H$ – сума номінальних потужностей по групі.

12 По вузлу сумується P_c і Q_c . Визначаються n і $\sum P_H$, знаходиться n_e . А далі за пунктами 8-11. Значення, одержані при розрахунках вже відносяться до розрахункового вузла.

При використанні обчислювальної техніки коефіцієнт максимуму K_M можна визначити за [4]:

$$K_M = \left(1 + \frac{\sqrt{3} \sqrt{f_{KH}^2}}{\sqrt{n_e}} \right) (AK_\phi - B) \quad (4.11)$$

де f_{KH} – коефіцієнт форми впорядкованих індивідуальних коефіцієнтів використання (лежить у межах 1,05-1,2); K_ϕ – груповий коефіцієнт форми графіка навантаження за найбільш завантажену зміну, а коефіцієнти A і B мають таке числове значення, що залежить від величини K_ϕ :

$$\begin{array}{ll} \text{при } K_\phi < 1,1 & \text{буде} \quad A=4,1, \quad B=3,1 \\ 1,1 \leq K_\phi \leq 1,5 & A=2,8, \quad B=1,67 \end{array}$$

Метод виявився громіздким. Застосування його на вищому рівні приводить до більших помилок в розрахунках. Помилки накопичуються від рівня до рівня. Відбувається просте підсумовування потужностей і коефіцієнтів, хоча електроприймачі виявляються з різних груп.

4.3.4 Статистичний метод розрахунку

Він дозволяє визначити розрахункову потужність з будь-якою прийнятою ймовірністю по піку температури та зношеності ізоляції й надає спробу подолати недоліки попереднього методу. Він виявляється більш прогресивним і в подальшому повинен знайти широке використання.

Розрахункове навантаження визначається двома інтегральними показниками: середнім навантаженням P_{CM} і середньоквадратичним відхиленням за рівнянням:

$$P_p = P_{CM} \pm \beta \sigma_{cp} \quad (4.12)$$

де β – прийнята кратність міри розсіювання для розрахункового навантаження по піку температури і по зношеності ізоляції. Більш докладний опис цього методу дано в літературі [3]. У методичних вказівках приводиться тільки порядок розрахунку статистичним методом.

1. По розрахунковому вузлу визначається сумарна встановлена потужність ΣP_H та виділяється найбільш потужний ЕП в групі P_{Hmax} .

2. Визначається ефективна кількість електроприймачів за формулою:

$$n_e = 2 \Sigma P_H / P_{Hmax} \quad (4.13)$$

3. Визначається середнє навантаження вузла P_C та Q_C :

$$P_C = P_H K_H \quad \text{– для активного навантаження та}$$

$$Q_C = P_C \operatorname{tg} \varphi \quad \text{– для реактивного навантаження.}$$

Якщо середнє навантаження рахується для групи електроприймачів, то коефіцієнт використання K_H береться з табличних даних (див. табл. 4.1).

Підсумувавши середнє навантаження по групам арифметичним складанням отримуємо середнє навантаження по вузлу ΣP_C та ΣQ_C .

4. Визначається K_H по вузлу

$$K_H = \frac{\Sigma P_C}{\Sigma P_H}$$

де ΣP_H – сумарна встановлена потужність по вузлу.

5. Визначається коефіцієнт максимуму K_M :

$$K_M = I + \frac{I}{\sqrt{n_e}} \left(\frac{0,5}{K_H} - 0,4 \right) \quad (4.14)$$

6. Визначається розрахункове навантаження за формулою:

$$P_P = K_M \Sigma P_C, \quad Q_P = L_M \Sigma Q_C \quad (4.15)$$

де L_M – визначається за табл. 3.3 залежно від K_H і n_e .

4.3 Порядок виконання роботи

Задана схема цехової електричної мережі, що живиться від трансформаторної підстанції (ТП).

4.4.1 Викладач визначає варіант завдання, вихідні дані яких подані в таблиці 3.4.

4.4.2 Вибирається основний більш придатний метод розрахунку й визначається навантаження цехової трансформаторної підстанції. Розрахунок ведеться з використанням обчислювальної техніки.

4.4.3 Вибирається другий метод розрахунку й аналогічно визначається навантаження для даного варіанту.

4.4.4 Показати відхилення розрахункових значень другого методу від основного у відсотках.

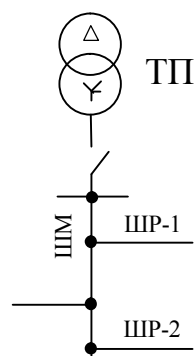


Рисунок 4.1 – Схема до розрахунку електричних навантажень

Таблиця 4.4 – Варіанти розрахунку

Найменування вузлів живлення і груп ЕП	Варіант 1			Варіант 2			Варіант 3		
	Кількість ЕП, n	Встановлена потужність, кВт		Кількість ЕП, n	Встановлена потужність, кВт		Кількість ЕП, n	Встановлена потужність, кВт	
		$\frac{P_{H\max}}{P_{H\min}}$	P_H		$\frac{P_{H\max}}{P_{H\min}}$	P_H		$\frac{P_{H\max}}{P_{H\min}}$	P_H
ШР-1									
Металорізальні станки	38	5	190	30	4	120	45	5	225
Пресове обладнання	13	15	195	9	10	90	11	12	132
Електропіч	1	1x50	50	4	50	200	2	50	100
Вентилятори	2	2x4,5	9	4	4,5	18	2	4,5	9
ШР-2									
Станки різні	60	51/4	800	48	51/4	650	72	42/4	900
Вентилятори	4	4x15	60	6	15	90	10	15	150
Насоси	2	2x75	150	4	60	240	4	75	300
Нагрівачі	3	3x30	90	6	42	252	2	30	60
ШР-3									
2 заливальні крани									
а) головний підйом (2 двигуни)	2	2x50	200	4	2x50	400	3	2x50	300
б) допоміжний підйом	6	30/7,5	90	5	30/7,5	60	4	30/7,5	75
в) пересувний міст (2 двигуни)	2	2x40	160	4	2x40	320	3	2x40	240

4.4 Оформлення звіту

Звіт повинен містити розрахункову схему й вихідні дані, а також розрахункові навантаження підстанції, розраховані як мінімум по двох варіантах. Відхилення розрахункових навантажень.

Висновки.

Контрольні запитання

1. Які методи розрахунку електричних навантажень Ви знаєте?
2. Вкажіть достоїнства, недоліки та область застосування кожного з методів.
3. Вкажіть найбільш прогресивні методи розрахунку.

5 ВИБІР КОМПЕНСУЮЧОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ НАВАНТАЖЕННЯ Й ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ВПЛИВУ НА ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

5.1 Мета роботи

Метою роботи є вивчення споживання навантаження, за яке в лабораторній роботі використовується асинхронний двигун, реактивної потужності, вибору батарей конденсаторів для компенсації реактивної потужності й оцінювання зниження втрат в системах електропостачання.

5.2 Загальні відомості

Електроприймачі промислових підприємств й міст для своєї роботи потребують як активної (P), так і реактивної (Q) потужності. Реактивна потужність, як і активна виробляється синхронними генераторами й передається по системі електропостачання до споживачів.

Основними електроприймачами реактивної потужності на промислових підприємствах є асинхронні двигуни (65-70%), 20-25% приходиться на трансформатори, 10% – на всі інші електроприймачі.

Знижуючи споживання приймачами реактивної потужності, можна зменшити встановлену потужність генератора, трансформаторну потужність підстанції, збільшити пропускну спроможність системи електропостачання, не збільшуючи розрізу кабелів, дротів та інших струмопровідних частин.

Передача значної реактивної потужності по лініях та через трансформатори не вигідна з-за таких основних причин:

- виникають додаткові втрати активної потужності й енергії у всіх елементах системи електропостачання, зумовлені завантаженням їх реактивної потужності

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p, \quad (5.1)$$

де P , Q – активна і реактивна потужності відповідно, що передаються по елементах мережі опором R ; ΔP_a , ΔP_p – втрати активної потужності, викликані протіканням відповідно активної й реактивної потужностей по елементах мережі.

- виникають додаткові втрати напруги

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p, \quad (5.2)$$

де R, X – активний і реактивний опори відповідно елементів мережі електропостачання; $\Delta U_a, \Delta U_p$ – втрати напруги, обумовлені проходженням відповідно активної і реактивної потужностей по елементах мережі.

- завантаження реактивною потужністю ліній електропередачі й трансформаторів зменшує їх пропускну спроможність і потребує додаткових заходів по збільшенню пропускну спроможності мережі.

Наведені міркування змушують, наскільки це технічно й економічно доцільно, наближати джерела реактивної потужності до місць її споживання. Це розвантажує значну частину ліній електропередач і трансформаторів від реактивної потужності, що рівносильно збільшенню коефіцієнта потужності.

Величина споживання реактивної потужності асинхронними двигунами залежить від коефіцієнту завантаження й номінального коефіцієнту потужності двигуна.

При номінальному завантаженні й номінальній напрузі асинхронний двигун споживає реактивну потужність:

$$Q_H = \frac{P_H}{\eta_{дн}} \operatorname{tg} \varphi_H \quad (5.3)$$

де $\eta_{дн}$ – к.к.д. двигуна при повному навантаженні; P_H – номінальна активна потужність двигуна, кВт; $\operatorname{tg} \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт потужності двигунів.

Реактивна потужність, що споживається двигуном з мережі при х.х. визначається:

$$Q_{xx} \approx \sqrt{3} U_H I_{xx} \quad (5.4)$$

де I_{xx} – струм х.х. асинхронного двигуна.

Збільшення споживання реактивної потужності при повному навантаженні двигуна у порівнянні з холостим ходом складає:

$$\Delta Q_H = Q_H - Q_{xx} \approx \frac{P_H}{\eta_{дн}} \operatorname{tg} \varphi_H - \sqrt{3} U_H I_{xx} \quad (5.5)$$

При навантаженнях асинхронного двигуна, менших за номінальні, приріст споживання реактивної потужності у порівнянні з холостим ходом пропорційний квадрату коефіцієнта завантаження двигуна:

$$\Delta Q = K_3^2 \Delta Q_H \quad (5.6)$$

де $K_3 = \frac{P}{P_H}$ – коефіцієнт завантаження двигуна.

Таким чином, реактивна потужність, що споживається двигуном при довільному навантаженні:

$$Q = Q_{xx} + \Delta Q_H K_3^2, \quad (5.7)$$

а коефіцієнт потужності асинхронного двигуна при довільному навантаженні дорівнює:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_{xx} + \Delta Q_H K_3^2}{P_H K_3} \right)^2}} \quad (5.8)$$

З вище викладених формул витікає, що коефіцієнт потужності двигуна зменшується при зменшенні його завантаження. Заходи по підвищенню коефіцієнту потужності можна розділити на дві частини: зменшити споживання реактивної потужності приймачем без використання компенсуючих пристроїв і з використанням компенсуючих пристроїв. Одним із заходів, що не потребує використання компенсуючих пристроїв є заміна мало завантажених двигунів двигунами меншої потужності. Однак цей захід потребує економічного обґрунтування. Для підвищення коефіцієнту потужності й зменшення завантаження реактивною потужністю елементів системи вдаються до встановлення компенсуючих пристроїв, у якості яких найчастіше використовують статичні конденсатори, які встановлюють поблизу споживання реактивної потужності.

Якщо необхідно компенсувати значення коефіцієнту реактивної потужності до будь-якої заданої величини, потужність батареї конденсаторів визначається з співвідношення:

$$Q_{\delta} = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) \quad (5.9)$$

де Q_{δ} – реактивна потужність батареї конденсаторів, кВар; P – активна потужність споживача електроенергії, кВт; $\operatorname{tg}\varphi_1$ – фактичне значення коефіцієнту потужності; $\operatorname{tg}\varphi_2$ – задане значення коефіцієнту потужності реактивної потужності.

5.3 Опис лабораторної установки

Робота виконується на установці, принципова схема якої приведена на рисунку 5.1. Живлення до установки підводиться через автоматичний вимикач АВ і таймерний пристрій, що складається з пускача П, пневматичного реле часу РЧ й кнопки «ПУСК». Реле часу не дозволяє тривало працювати електродвигуну щоб уникнути перегріву вантажного опору.

Вимір електричних величин здійснюється амперметрами A_1 і A_2 , ваттметрами W_1 і W_2 .

Навантаження електродвигуна АД змінюється шляхом збільшення збудження генератора Г з електромашинним посилювачем ЕМП. Генератор ввімкнений постійно на вантажний опір «Навантаження».

Для набору різних ємностей конденсаторної батареї передбачений блок вимикачів, що дозволяє змінювати рівнями ємність конденсаторів у кожній фазі від 0 до 42 мФ.

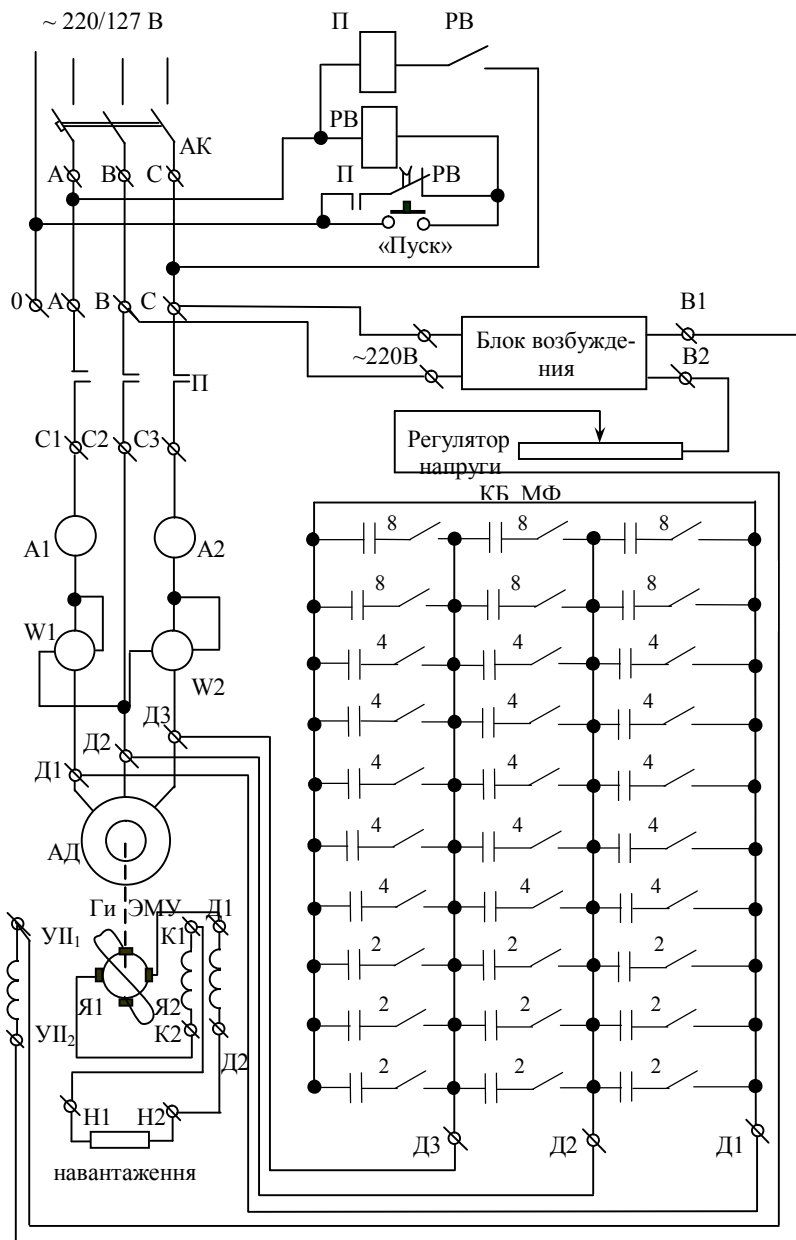


Рисунок 5.1 – Принципова схема лабораторної установки

5.4 Прибори й обладнання

В лабораторній установці використовується таке обладнання: генератор постійного струму з електромашинним посилювачем ЕМП-49 (за схемою Г і ЕМП) 220 В, 3000 об/хв.;

- автоматичний вимикач АВ, $I_H - 16$ А (АВ);
- пускач магнітний трифазний 220 В, ПМЛ-11000 (П);
- пневматичне реле часу, РВП-72 (РЧ);

- блок збудження стабілізований (БЗ);
- регулятор збудження $P=2$ Вт, 22 кОм (РЗ);
- асинхронний трифазний двигун 2,2 кВт, 220 В, 2850 об/хв. (АД);
- амперметр, 5-10 А, (A_1 , A_2);
- вольтметр, 300 В (В);
- ваттметр, 10 А, 300 В (W_1 , W_2);
- батарея конденсаторів 6 шт по 8 мФ, 15 шт по 4 мФ и 9 шт по 2 мФ, 630 В (БК).

5.5 Порядок виконання роботи

Лабораторна робота зібрана у відповідності з принциповою схемою (рис. 5.1).

Батарея конденсаторів (БК) на початок проведення дослідів повинна бути відключена (положення вимикачів « ») і регулятор збудження (РЗ) встановлений в положення « », яке відповідає проведенню дослідів «1».

Показники приборів записуються в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Таблиця вимірів

Номер дослідів	Показники приладів				
	U, В	I_1 , А	I_2 , А	W_1 , Вт	W_2 , Вт
1					
2					
3					
4					

Регулятор збудження (РЗ) переводиться по чергові в положення «1», «2», «3», й автоматично проводяться дослідів 2, 3, 4, а дані заносяться в таблицю 5.1.

У відповідності з одержаними дослідними даними заповнюється таблиця 5.2.

Таблиця 5.2 – Таблиця розрахунків

Номер досліджу	$\frac{P, кВт}{W_1 + W_2}$	$\frac{S, кВА}{3U_\phi I_\phi}$	$\frac{\cos \varphi_1}{P/S}$	$\frac{K_3}{P/P_H}$	$\frac{Зад.к.п}{tg \varphi_2}$	$Q_\phi,$ кВар	$C_\phi,$ мФ
1							
2							
3							
4							

Заданий коефіцієнт потужності (зад. к. п) задається викладачем. Не обхідна ємність конденсаторів у кожній фазі при з'єднанні трикутником визначається:

$$C_\phi = \frac{Q10^6}{U^2} \quad (5.10)$$

де U – лінійна напруга мережі, В.

Після визначення ємності конденсаторів необхідно для підвищення коефіцієнта потужності до заданого вмикаються конденсатори в фазі, визначені розрахунком. Режим роботи асинхронного двигуна (номер досліджу) визначає викладач. Для даного режиму роботи вже з батареєю конденсаторів проводять дослід і записують показники приборів. Аналізую їх необхідно зробити висновки по даній роботі.

Контрольні питання

1. Як впливає коефіцієнт завантаження електродвигуна на величину коефіцієнту потужності?
2. Вигідна чи ні передача реактивної потужності по системах електропостачання?
3. Як визначити потужність батареї конденсаторів для компенсації реактивної потужності?

6 ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МІСЦЕ РОЗТАШУВАННЯ ГОЛОВНОЇ ПОНИЖУЮЧОЇ ПІДСТАНЦІЇ (ГПП) НА ТЕРИТОРІЇ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

6.1 Мета роботи

Побудова зони оптимального розташування живлячих підстанцій на території промислового підприємства.

6.2 Загальні відомості

Головною ланкою в системі електропостачання промислового підприємства є головні розподільні (ГРП) або головні понижуючі (ГПП) підстанції промислових підприємств. Раціональне їх розміщення на території промислового підприємства є одним з найважливіших питань при проектуванні систем електропостачання.

Коли допустити, що навантаження цеху рівномірно розподілене по площині цеху, то центр навантажень цеху можна прийняти співпадаючим з центром ваги фігури, що зображує цех на плані. Якщо враховувати дійсне розподілення навантажень в цеху, то центр навантажень вже не буде співпадати з центром ваги фігури цеху на плані, і знаходження центра навантажень зводиться до визначення центра ваги даної системи мас.

Проводячи аналогію між масами й електричними навантаженнями цехів P_i , координати їх центра можна визначити відповідно до формул:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (6.1)$$

де P_i - повне навантаження i -го цеху, кВА; n - кількість цехів, шт; X_i, Y_i - координати центра навантаження i -го цеху, м.

Цей метод визначення центра електричних навантажень відрізняється простотою і наочністю, але він не враховує тривалість вмикання T_i цього навантаження:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i}; \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i Y_i T_i}{\sum_{i=1}^n P_i T_i}. \quad (6.2)$$

Однак центр електричних навантажень промислового підприємства слід розглядати не як фіксовану точку на генплані, а як якусь область, що називається областю розсіювання центра електричних навантажень, в якій переміщується центр у зв'язку зі зміною графіка навантажень протягом зміни.

Для визначення зони розсіювання центра електричних навантажень необхідно знайти закон розподілу координат центра. Проведені в цій області дослідження показали, що розподіл випадкових координат центра відповідає нормальному закону розподілу (закон Гаусса-Лапласа):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_x)^2}{2\sigma_x^2}}; \quad (6.3)$$

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-a_y)^2}{2\sigma_y^2}}, \quad (6.4)$$

де a_x, a_y – математичне очікування випадкових координат; σ_x^2, σ_y^2 – дисперсія випадкових координат, або

$$f(x) = \frac{h_x}{\sqrt{\pi}} e^{-h_x^2 x^2}, \quad (6.5)$$

$$f(y) = \frac{h_y}{\sqrt{\pi}} e^{-h_y^2 y^2}, \quad (6.6)$$

де h_x, h_y – міри точності випадкових величин:

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2}}; \quad (6.7)$$

$$h_y = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2}}; \quad (6.8)$$

Щільності розподілу ймовірностей випадкових координат зображуються в прямокутній системі координат у вигляді кривої нормального розподілу. Нормальний закон розподілу визначається у випадку незалежних координат чотирма параметрами: математичними очікуваннями a_x, a_y , що визначають розташування умовного ЦЕН, і середньоквадратичними відхиленнями σ_x, σ_y або мірами точності h_x, h_y .

Числові характеристики знайденого розподілу визначають з таких виразів:

$$\begin{cases} a_x = \sum_{i=1}^n X_k P_{kx}; \\ a_y = \sum_{i=1}^n Y_k P_{ky}; \end{cases} \quad (5.9)$$

$$\begin{cases} \sigma_x^2 = \sum_{k=1}^n P_{kx} (X_k - a_x)^2; \\ \sigma_y^2 = \sum_{k=1}^n P_{ky} (Y_k - a_y)^2; \end{cases} \quad (5.10)$$

$$\begin{cases} h_x = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2}}; \\ h_y = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2}}. \end{cases} \quad (5.11)$$

Для визначення зони розсіювання центра електричних навантажень поверхню нормального розподілу необхідно перетнути площиною, паралельною площині ХОУ. Перетин на площині обмежений кривою:

$$H = Qe^{-(h_x^2 X^2 + h_y^2 Y^2)}, \quad (6.12)$$

після логарифмування одержуємо

$$\ln \frac{Q}{H} = h_x^2 X^2 + h_y^2 Y^2, \quad (6.13)$$

де $Q = \frac{h_x h_y}{\pi}$ – Рівняння (5.13) являє собою рівняння еліпсу, напівосі якого

дорівнюють

$$R_x = \frac{1}{h_x} \sqrt{\ln \frac{Q}{H}}; \quad R_y = \frac{1}{h_y} \sqrt{\ln \frac{Q}{H}}; \quad (6.14)$$

Ймовірність попадання випадкових координат в середину λ еліпса можна визначити, позначивши $\ln \frac{Q}{H} = \lambda^2$. Отримуємо рівняння еліпса:

$$\lambda^2 = h_x^2 X^2 + h_y^2 Y^2. \quad (6.15)$$

Ймовірність $P(\lambda)$ попадання випадкових X, Y в середину еліпса дорівнює

$$P(\lambda) = \frac{h_x h_y}{\pi S_\lambda} \iint_{S_\lambda} e^{-(h_x^2 X^2 + h_y^2 Y^2)} dx dy, \quad (6.16)$$

де S_λ – площа, обмежена λ -еліпсом.

Після перетворення

$$P(\lambda) = 1 - e^{-\lambda^2}. \quad (6.17)$$

Довірчою ймовірністю того, що випадкова точка (x, y) попадає в даний еліпс, називається таке значення цієї ймовірності, яке вважається достатньо близьким до одиниці. Близькість довірчої ймовірності до одиниці означає, що попадання випадкової точки (x, y) в еліпс практично вірогідне.

Прийнявши за довірчу ймовірність значення $P(\lambda) = 0,95$ і вирішивши рівняння (5.21), отримаємо $\lambda^2 = 3$, тоді

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}, \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} \quad (6.18)$$

У загальному випадку координати X_i, Y_i центра електричних навантажень є залежними величинами. Міру сили й напрямку лінійного зв'язку між значеннями X_i, Y_i характеризує коефіцієнт кореляції K_κ . Він може приймати будь-які значення:

$$-1 < K_\kappa < 1 \quad (6.19)$$

Емпіричний коефіцієнт кореляції записують таким чином:

$$K_\kappa = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - a_x)(Y_i - a_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - a_x)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - a_y)^2}}, \quad (6.20)$$

де n – кількість пар чисел статичної сукупності (X_i, Y_i) ; a_x, a_y – емпіричні математичні очікування визначаються з виразу (5.9).

Вісі еліпса розсіювання утворюють з осями координат деякий кут α , що визначається таким чином:

$$\alpha = \frac{\operatorname{arctg} \frac{2K_k \sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}}{2}, \quad (6.21)$$

де σ_x^2, σ_y^2 – емпіричні дисперсії, що визначаються з виразу (6.10).

При виборі напрямку координатних осей їх намагаються зорієнтувати таким чином, щоб вони приблизно співпадали з напрямком осей еліпса розсіювання. Якщо це зробити раніше неможливо, то для побудови еліпса розсіювання необхідно початок координат перенести в точку a_x, a_y , а координатні осі повернуті на кут α , що визначається виразом (5.21). При цьому числові характеристики еліпса в новій системі координат φ, ψ матимуть вигляд:

$$\begin{cases} \sigma_\psi^2 = \sigma_x^2 \cos^2 \alpha + K_k \sigma_x \sigma_y \sin 2\alpha + \sigma_y^2 \sin^2 \alpha \\ \sigma_\varphi^2 = \sigma_x^2 \sin^2 \alpha + K_k \sigma_x \sigma_y \sin 2\alpha + \sigma_y^2 \cos^2 \alpha \end{cases} \quad (6.22)$$

Напівосі еліпса визначаються в цьому випадку:

$$\begin{aligned} R_\psi &= \frac{\sqrt{3}}{h_\psi}; & R_\varphi &= \frac{\sqrt{3}}{h_\varphi} \\ h_\psi &= \frac{1}{\sigma_\psi \sqrt{2}}; & h_\varphi &= \frac{1}{\sigma_\varphi \sqrt{2}} \end{aligned} \quad (6.23)$$

Генеральний план підприємства із зоною розсіювання при некорельованих величинах X і Y з урахуванням кореляції (осі ψ і φ) приведений на рисунку 6.1. Кут α на плані показаний для довільного коефіцієнта кореляції. Для розрахунку чисельних значень математичного очікування, середньоквадратичного відхилення, а також знаходження зони розсіювання центра електричних навантажень дано розрахункові навантаження цехів підприємства (табл. 6.1) з добовими графіками навантаження кожного цеху (рис. 6.2, табл. 6.1).

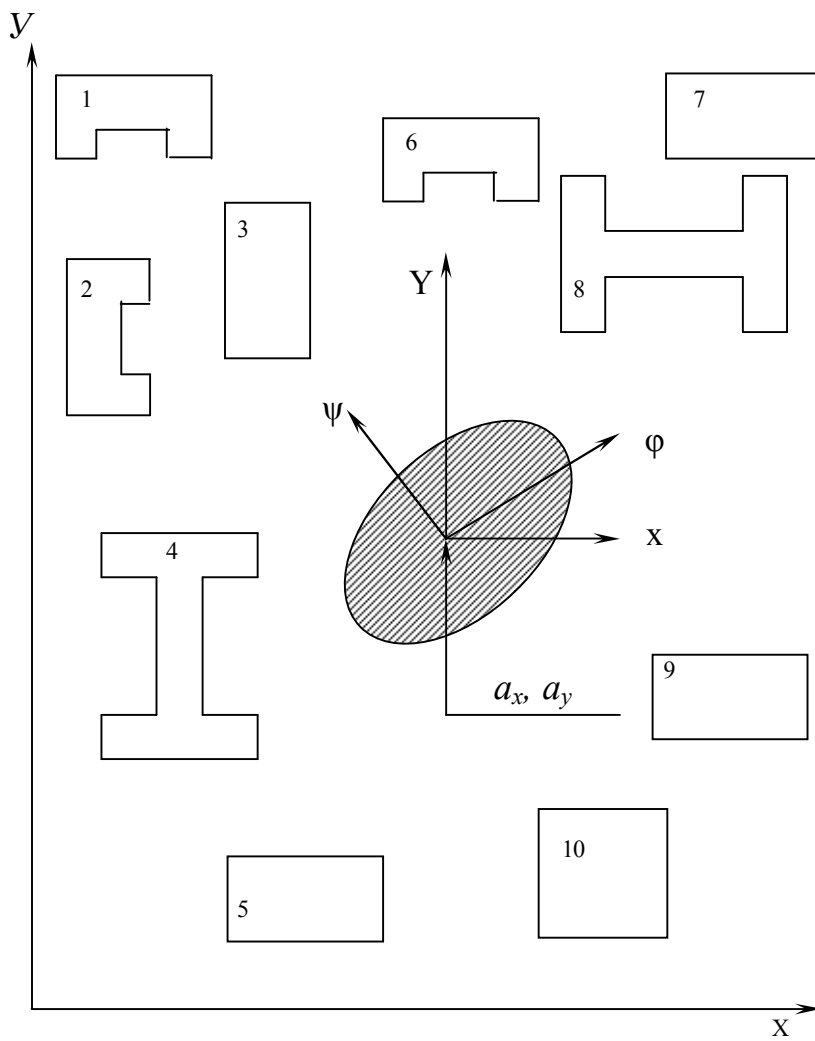


Рисунок 6.1 – Генеральний план підприємства із зоною розсіювання при некорельованих величинах X і Y з урахуванням кореляції (осі ψ і ϕ)

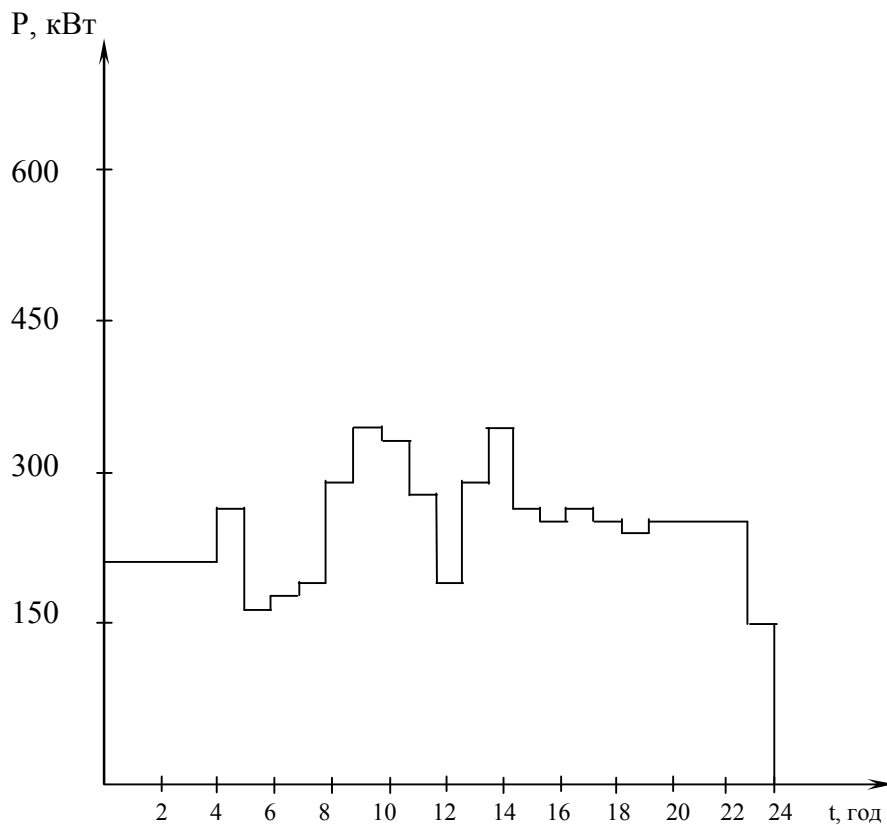


Рисунок 6.2 – Графік навантаження цеху № 10.

Для інших цехів навантаження зведено у таблицю 6.1

6.3 Опис лабораторного стенду

На стенді поданий генеральний план підприємства (див. рис. 6.1). На цьому плані маємо 10 цехів. За вказівкою викладача відповідними тумблерами вибираємо варіант виконання роботи (на генплані промислового підприємства загоряється лампочка цехів, що входять у даний варіант).

Таблиця 6.1 – Розрахункове активне навантаження цехів, кВт

Номер цеху	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	330	320	180	220	100	150	200	300	200	220
2	330	320	180	220	100	150	230	300	200	220
3	330	320	180	220	100	150	240	300	200	220
4	380	320	180	220	100	150	230	300	200	220
5	380	320	180	250	130	140	200	300	200	260
6	430	320	180	250	130	160	200	300	220	180
7	430	320	180	400	130	170	230	300	220	200
8	430	320	180	440	130	170	330	530	220	220
9	480	350	260	500	130	150	290	530	220	300
10	480	350	260	500	220	150	420	530	220	350
11	480	350	260	440	220	150	160	530	220	340
12	430	320	180	400	100	150	200	610	270	280
13	430	340	180	440	190	150	250	610	270	220
14	380	350	260	440	220	150	200	610	270	300
15	380	350	260	500	190	150	180	610	270	340
16	460	350	260	500	190	150	250	530	220	280
17	460	350	260	450	190	170	330	610	220	260
18	460	320	200	400	190	170	340	610	220	280
19	430	320	200	300	190	150	300	460	300	260
20	430	320	200	300	100	150	290	460	300	250
21	380	320	200	250	100	150	260	530	300	280
22	380	320	200	250	100	150	300	530	250	280
23	330	320	180	250	100	140	290	410	250	280
24	330	320	180	220	100	140	150	310	200	120

6.4 Порядок виконання роботи

6.4.1 Одержати завдання у викладача (номер варіанта).

6.4.2 Познайомитися з методикою визначення зони розсіювання координат центра електричних навантажень (6.2).

6.4.3 На стенді визначити координати цехів підприємства для даного варіанта.

6.4.4 Визначити координати центра електричних навантажень відповідності до добових графіків цехів підприємства (рис. 6.2) за формулою (6.1), використовуючи дані таблицю 6.1.

6.4.5 Визначити параметри нормального закону розподілу за виразами (5.9) – (5.11).

6.4.6 Визначити напівосі еліпса розсіювання за формулою (5.18).

6.4.7 Визначити коефіцієнт кореляції за формулою (5.20).

6.4.8 Визначити кут α між віссю еліпса розсіювання і осями координат за виразом (5.21).

6.4.9 Визначити параметри нормального закону розподілення в новій системі координат за формулами (5.22), (5.23).

6.4.10 Побудувати зону розсіювання центра електричних навантажень промислового підприємства.

Контрольні запитання

1. Як визначити зону розсіювання центра електричних навантажень?
2. Для чого визначають центр електричних навантажень?
3. Покажіть центр електричних навантажень з урахуванням коефіцієнта кореляції

7 ЗАЗЕМЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ І ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ЗАЗЕМЛЮВАЧІВ

7.1 Мета роботи

Вивчення основних вимог Правил пристрою електроустановок (ПУЕ) до заземлень і захисних заходів електробезпеки, найбільш поширених методів випробувань заземлюючих пристроїв і вимірювальних приладів, придбання практичних навиків проведення вимірювання опору заземлюючих пристроїв.

7.2 Загальні відомості

Заземлюючим пристроєм називається сукупність заземлювача і заземлюючих провідників.

Заземлювач – це металевий провідник або група провідників, що знаходяться в безпосередньому зіткненні із землею.

Заземлюючі провідники є металеві провідники, що сполучають частини електроустановки, що заземляються, із заземлювачем.

Заземленням якої-небудь частини електроустановки називають навмисне електричне з'єднання її із заземлюючим пристроєм.

Опір заземлюючого пристрою – це відношення напруги на заземлюючому пристрої до струму, що стікає із заземлювача в землю.

У електроустановках напругою до 1000 В і вище безпека людей повинна забезпечуватися правильно виконаним заземлюючим пристроєм. При цьому як заземлювачів повинні бути в першу чергу використані природні заземлюючі, тобто металеві конструкції, арматура залізобетонних конструкцій, трубопроводи і устаткування, що мають надійне з'єднання із землею у випадках, ПУЕ, що допускаються. Якщо ці заземлюючі мають опір, що задовольняє вимогам ПУЕ, то пристрій штучних заземлень не потрібний.

У електроустановках з глухозаземленою нейтраллю при замиканнях на заземлені частини повинне бути забезпечене надійне автоматичне відключення пошкоджених ділянок мережі з найменшим часом відключення. З цією метою на електроустановках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю обов'язковий металевий зв'язок корпусів електроустановки із заземленою нейтраллю електроустановки.

До частин, підметом заземленню, відносяться:

- корпуси електричних машин, трансформаторів, апаратів, світильників;
- приводи електричних апаратів;
- вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів;
- каркаси розподільних щитів, щитів управління, щитків і шаф;
- металеві конструкції розподільних пристроїв, металеві кабельні конструкції, металеві корпуси кабельних муфт, металеві оболонки і броня контрольних і силових кабелів, металеві оболонки приводів, сталеві труби електропроводки і інші металеві конструкції, пов'язані з установкою електроустановки.

В якості природних заземлювачів можуть використовуватися:

- прокладені під землею водопровідні і інші металеві трубопроводи (за винятком трубопроводів горючих рідин, горючих або вибухових газів, а також трубопроводів, покритих ізоляцією для захисту від корозії);
- обсадні труби;
- металеві конструкції і арматура залізобетонних конструкцій будівель і споруд, що мають з'єднання із землею;
- металеві шпунти гідротехнічних споруд;
- свинцеві оболонки кабелів, прокладених в землі (не допускається використання як природних заземлювачів алюмінієвих жил кабелів).

Як штучних заземлювачів слід застосовувати вертикально занурені сталеві труби, кутову. Сталь, металеві стрижні; горизонтально покладені сталеві смуги, круглу сталь.

Найменші розміри сталевих штучних заземлювачів, згідно ПУЕ:

діаметр круглих (лозинах) заземлювачів, мм:

неоцинкованих 10;

оцинкованих 6;

товщина прямокутних заземлювачів, мм 4;

перетин прямокутних заземлювачів, мм² 48;

товщина полиць кутової сталі, мм⁴.

Як штучних заземлювачів допускається застосування заземлювачів з електропровідного бетону.

Згідно вимогам ПУЕ найбільший опір заземлюючих пристроїв R_z не повинен перевищувати:

– у установках напругою вище 1000 В з великими струмами замикання на землю ($I_z \geq 500$ А) $R_z \leq 0,5$ Ом;

– у установках напругою вище 1000 В з малими струмами замикання на землю ($I_z < 500$ А) $R_z \leq 250/I_z$, але не більше 10 Ом, де I_z – розрахунковий струм замикання на землю, А;

– при використанні заземлюючого пристрою одночасно для електроустановок напругою вище і нижче 1000 В $R_z \leq 125/I_z$, при цьому повинні виконуватися також вимоги, що пред'являються до заземлення (занулення) установок до 1000 В;

– у установках напругою нижче 1000 В з ізолюваною нейтраллю $R_z \leq 4$ Ом, а при потужності генераторів і трансформаторів 100 кВА і менш $R_z \leq 10$ Ом;

– у установках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю $R_z \leq 2,4$ або 8 Ом при лінійній напрузі 660, 380 або 220 В; при цьому опір заземлювача, розташованого в безпосередній близькості від нейтралі генератора або трансформатора, повинен бути не більше 15, 30 або 60 Ом при лінійній напрузі відповідно 660, 380 або 220 Ст.

На повітряних лініях електропередачі занулення повинне здійснюватися нульовим робочим дротом, прокладеним на тих же опорах, що і фазні дроти. На кінцях повітряних ліній (або відгалужень) завдовжки більше 200 м, а також на введеннях від повітряних ліній до електроустановок, які підлягають зануленню, повинні бути виконані повторні заземлення нульового робочого дроту.

Загальний опір розтікання заземлювачів всіх повторних заземлень нульового робочого дроту кожної повітряної лінії не повинен бути у будь-який час роки більше 5, 10 і 20 Ом, а кожного з повторних заземлювачів – не більше 15, 30 і 60 Ом при лінійній напрузі відповідно 660, 380 і 220 В. При питомому опорі землі $\rho > 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ також допускається збільшувати вказані норми в 0,01с разів, але не 10-кратнішого збільшення.

7.3 Порядок виконання роботи

Вимірювання опору заземлюючих пристроїв повинне проводитися при здачі електроустановки в експлуатацію, після ремонтів заземлюючих пристроїв і не рідше за 1 раз на три роки в подальшому. Вимірювання проводиться під час найсприятливіших умов (сухий період влітку або промерзання ґрунту зимою).

Для вимірювання опору заземлення застосовують вимірника заземлення МС-08. Прилад дозволяє вимірювати опору розтіканню магістралей заземлення, опору провідників і інших елементів, індуктивностей, що не містять, і ємкостей, у тому числі і перехідні опори контактів. За допомогою вимірника заземлення можна перевіряти питомі опори ґрунтів. Вимірник МС-08 дозволяє проводити вимірювання за наявності блукаючих змінних і постійних струмів.

У приладі МС-08 використовується метод амперметра-вольтметра. Конструктивно амперметр і вольтметр замінені одним магнітоелектричним логметром.

Для проведення вимірювань, крім випробовуваного заземлювача R_x , потрібно мати ще два заземлювача – зонд Z і допоміжний заземлювач B (мал. 6.1).

Призначення зонда – отримання в схемі точки з нульовим потенціалом, по відношенню до якої може бути зміряний потенціал випробовуваного заземлювача. Призначення допоміжного заземлювача – створення ланцюга для вимірювального струму через допоміжний і випробовуваний заземлювач.

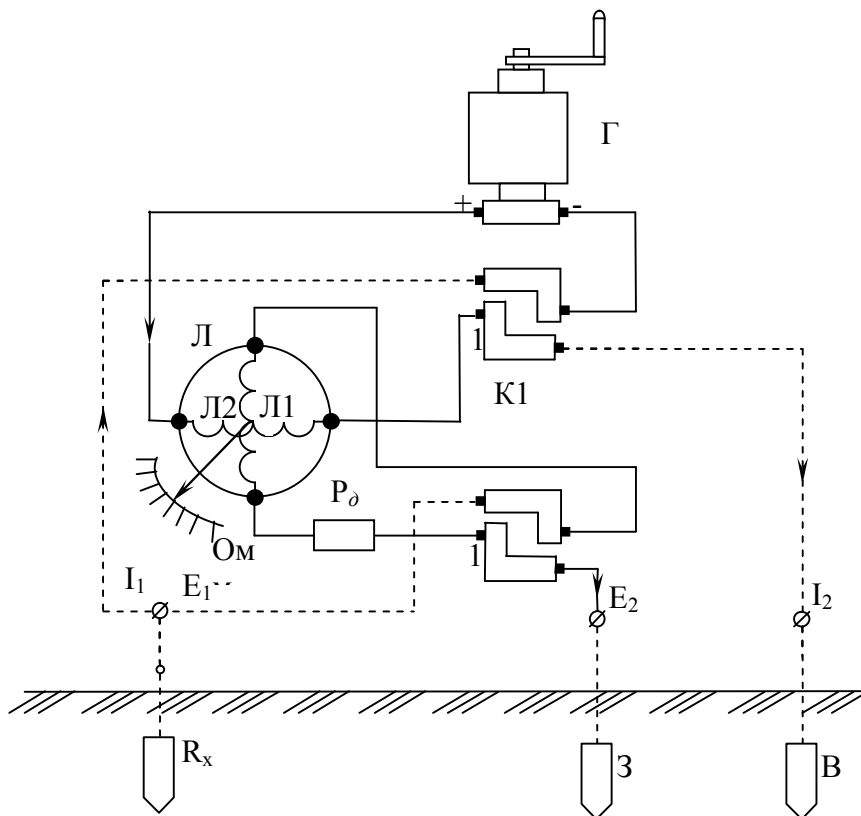


Рисунок 7.1 – Схема вимірника заземлювача МС-08

Мінімально допустимі відстані між випробовуваним одиночними заземлювачем або магістраллю заземлення і допоміжними електродами зображені на рисунках 7.2 та 7.3.

Якщо розташувати зонд до заземлювачу ближче вказаних мінімальних відстаней, то буде виміряно не все падіння напруги на ділянці розтікання, а лише його частина. Тому вимірювання дадуть занижене значення опору заземлення.

Джерелом живлення МС-08 служить генератор постійного струму Г (див. рис. 7.1), що приводиться в обертання рукояткою з частотою обертання

90-150 об/хв. На одній осі з генератором обертаються комутаторний переривник К1 і комутаторний випрямляч К2. Струмова рамка логометра Л1 отримує живлення постійним струмом від генератора, потім переривник перетворює постійний струм в змінний, який поступає в землю через допоміжний заземлювач.

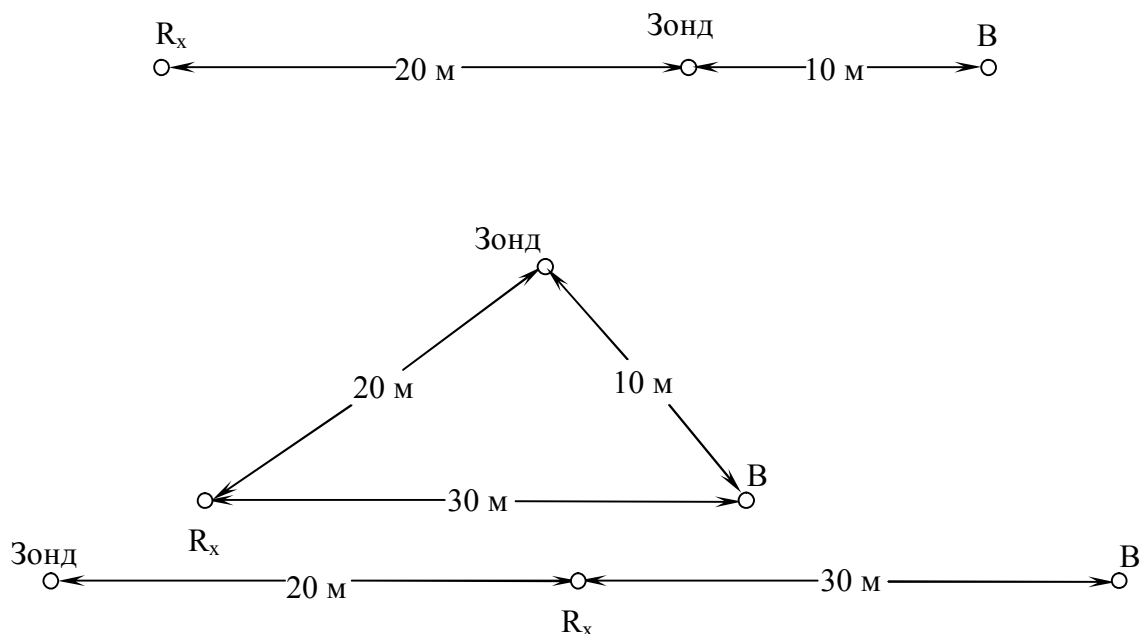


Рисунок 7.2 – Мінімальні відстані між одиничним заземлювачем і допоміжними електродами

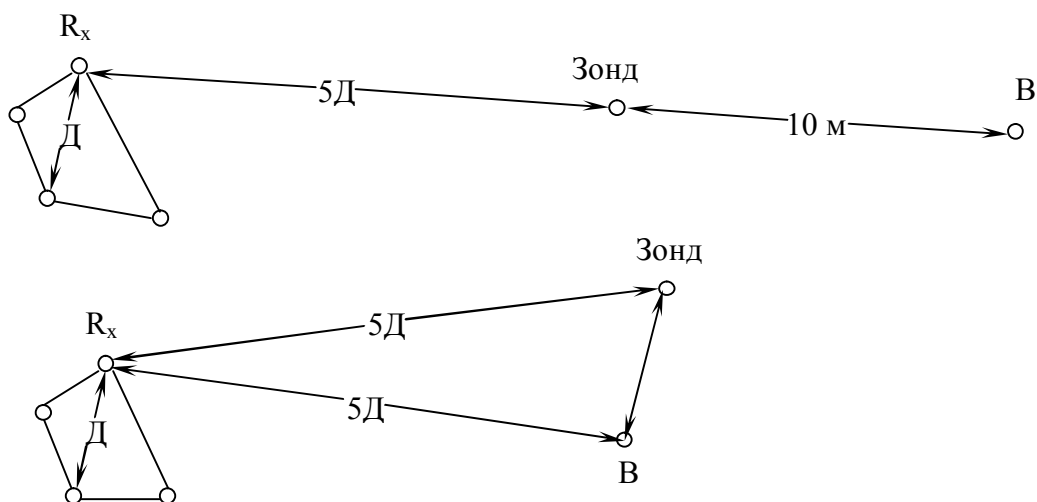


Рисунок 7.3 – Мінімальні відстані між випробовуваною магістраллю заземлення і допоміжними електродами

У потенційну рамку Л2, включену між випробовуваним заземлителем і зондом, подається випрямлена напруга. Таким чином, завдяки наявності переривника і випрямляча, через рамку логометра протікає постійний струм, а через землю – змінний. Наявність комутаторного випрямляча перешкоджає попаданню блукаючих струмів в потенційну рамку логометра.

Виконується робота в такій послідовності.

Ознайомитися з інструкцією, приладом МС-08 і навчитися їм користуватися.

Провести вимір опору електродів заземлення 1.9, розміщених на полігоні лабораторії. Для цього необхідно виконати наступне. Приєднати прилад до випробовуваного заземлювачу, зонду і допоміжному заземлювачу згідно рисунку 7.1, дотримуючи мінімальні відстані між заземлювачем або магістраллю і допоміжними електродами, як це показано на рисунках 7.2 – 7.3.

У качестве спеціальних допоміжних електродів рекомендується застосовувати сталеві стрижні діаметром 10-20 мм, забиті на глибину не менше 0,5 м. Допоміжними заземлювачами можуть бути також вже наявні в землі стрижні, труби, металеві конструкції або інші заземлювачі, що не мають електричного зв'язку з випробовуваним заземлювачем і достатньо віддалені від нього. При виконанні лабораторної роботи використовується основний і допоміжний зонди, що є на полігоні.

Прилад необхідно розташувати ближче до випробовуваного заземлювача. Затиски *I1* і *I2* з'єднати відповідно з випробовуваним і допоміжним електродами. Затиск *E2* з'єднати із зондом, а затиск *E1* – спеціальною перемичкою із затиском *I1*.

При нерухомому генераторі стежити за стрілкою приладу. Відхилення стрілки означає наявність постійного блукаючого струму. Для настроювання генератора від блукаючих струмів при виробництві вимірювань слід змінювати число оборотів генератора (прискорюючи або уповільнюючи обертання) в межах 90-150 об/хв, добиваючись спокійного відхилення стрілки або зникнення коливань.

Провести компенсацію зовнішніх опорів потенційного ланцюга – зонда і сполучних проводів. Для цього перемикач меж вимірювання П (див. рис. 7.1) ставлять в положення «Регулювання». Обертаючи рукоятку генератора із швидкістю 90-150 об/хв одночасно повертають рукоятку реостата П, поки стрілка приладу не встановиться на червоній відмітці шкали.

Після закінчення компенсації потенційному ланцюгу (регулювання) рукоятку перемикача П ставлять в положення «Вимірювання», починаючи вимірювання за основною шкалою, що має межу 1000 Ом. Цьому відповідає положення перемикача «Вимірювання 1». Якщо стрілка трохи відхиляється від нульової відмітки, то слід перейти на наступну межу і так далі

Результати вимірів опору контурів звести в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати вимірів

Номер електроду	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Опір електроду, Ом									

7.4 Оформлення звіту

Звіт повинен містити схему приладу МС-08, результати вимірювання, записані в таблицю, виводи про придатність даних заземлюючих пристроїв для тих або інших електроустановок.

Контрольні питання

1. Призначення заземлюючих пристроїв електроустановок.
2. Як проводиться вимірювання опору заземлень приладом МС-08?
3. Що таке штучні і природні заземлювачі?
4. Що таке опір розтіканню заземлювача?

5. Як впливає віддаленість зонда на точність вимірювань опору заземлювача?
6. Для чого проводиться періодична перевірка цілості і опору заземлюючих пристроїв?
7. Яку величину опору розтіканню допускають ПУЕ в різних електроустановках?

Л і т е р а т у р а

1. Правила устройства электроустановок. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – Гл. 1.7.
2. Найфельд М. Р. Защитные и заземления в электромеханических установках / М. Р. Найфельд – М. : Госэнергоиздат, 1969.
3. Измеритель заземления типа МС-08. Инструкция завода «Энергоприбор». – М. : ЦБТИ, 1958.

8 ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ПЕТЛІ ФАЗА-НУЛЬ І СТРУМІВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ ДО 1000 В

8.1 Мета роботи

Спрощене визначення струмів і перевірка умови спрацьовування захисних апаратів при однофазних замиканнях в мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю.

8.2 Загальні відомості

8.2.1 Зміст роботи

У електричних мережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю повинне бути забезпечене надійне відключення захисним апаратом однофазного короткого замикання. Це диктується вимогами техніки безпеки, оскільки однофазне замикання (замикання на корпус) для таких мереж пов'язане з появою напруги в нульовому дроті, потенціал якого повинен бути близький до нуля або рівний нулю.

Розрахунковими точками для визначення струму короткого замикання є найбільш електрично віддалені точки мережі.

Найменша величина однофазного струму короткого замикання може бути визначена по наближеній формулі

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{Z_n + Z_{\gamma} / 3} \quad (8.1)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі, В;

Z_{γ} – повний опір знижувального трансформатора струму заземлення на корпус, Ом;

Z_n – повний опір ланцюгу фазний провідник – нульовий провідник (захисний або робочий), Ом

$$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}, \quad (8.2)$$

де R_n – активний опір фазного (R_{ϕ}) і нульового (R_n) провідників, Ом

$$R_n = R\phi + R_H \quad (8.3)$$

X_n – індуктивний опір ланцюгу фаза-нуль, Ом.

Надійне відключення захисним апаратом однофазного короткого замикання буде забезпечено за умови виконання співвідношення

$$Kz_{iv} \leq I_{k.z.}, \quad (8.4)$$

де Kz – допустима кратність мінімального струму короткого замикання ($I_{k.z.}$) по відношенню до номінального струму плавкої вставки запобіжника або струму спрацьовування розчіплювача автомата I_v .

Правила пристрою електроустановок [1 § 1.7.79] регламентують наступні коефіцієнти, що забезпечують швидке спрацьовування захисту при однофазних коротких замиканнях в кінці ділянки лінії, що захищається:

– $Kz \geq 3$ – при захисті запобіжниками або автоматичними вимикачами з назад-залежною від струму характеристикою;

– при захисті автоматичними вимикачами, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічення), $Kz = 1,1 Kp$, де Kp – коефіцієнт розкиду (за заводськими даними). За відсутності заводських даних дозволяється приймати $Kz \geq 1,4$ для автоматичних вимикачів з номінальним струмом до 100 А, для інших автоматичних вимикачів $Kz = 1,25$.

В процесі експлуатації мережі часто виникає необхідність в уточненні опору ланцюга фазний провідник – нульовий провідник для установки, що діє. Це завдання може бути вирішена оперативно за допомогою приладу типу М-417 без зняття напруги з досліджуваної ділянки мережі.

8.2.2 Опис і інструкція з експлуатації приладу для вимірювання опору ланцюгу фаза – нуль М-417

Прилад М-417 призначений для вимірювання опору ланцюгу фаза – нуль в діапазоні від 0,1 до 1,6 Ом без відключення живлячого джерела струму. Він забезпечує перевірку умов електробезпеки роботи на електроустановці, що

харчується від мережі змінного струму з лінійною напругою 380 В частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю живлячого трансформатора.

Технічна характеристика

Діапазон свідчень, Ом 0 . 2

Робочий діапазон вимірювань, Ом 0,1,1,6

Основні погрішності у відсотках

від довжини робочої частини шкали ± 10

Прилад забезпечує автоматичне розмикання вимірювального ланцюга при появі на корпусі контрольованого об'єкту небезпечного потенціалу 36 В і більш (опір ланцюгу фаза – нуль більше 2 Ом). Час розмикання не перевищує 0,3 с.

Споживана потужність:

у режимі підготовки – не більше 30 ВА;

у режимі вимірювання – не більше 4,5 кВА.

На передній панелі приладу розташовані: відліковий пристрій, кнопка «ПЕРЕВІРКА КАЛІБРУВАННЯ», кнопка «ВИМІРЮВАННЯ», ручка «КАЛІБРУВАННЯ», сигнальні лампи « $Z < 2$ Ом», « $Z > 2$ Ом» і затиск для підключення приладу.

Електрична принципова схема приладу зображена на рисунку 8.1.

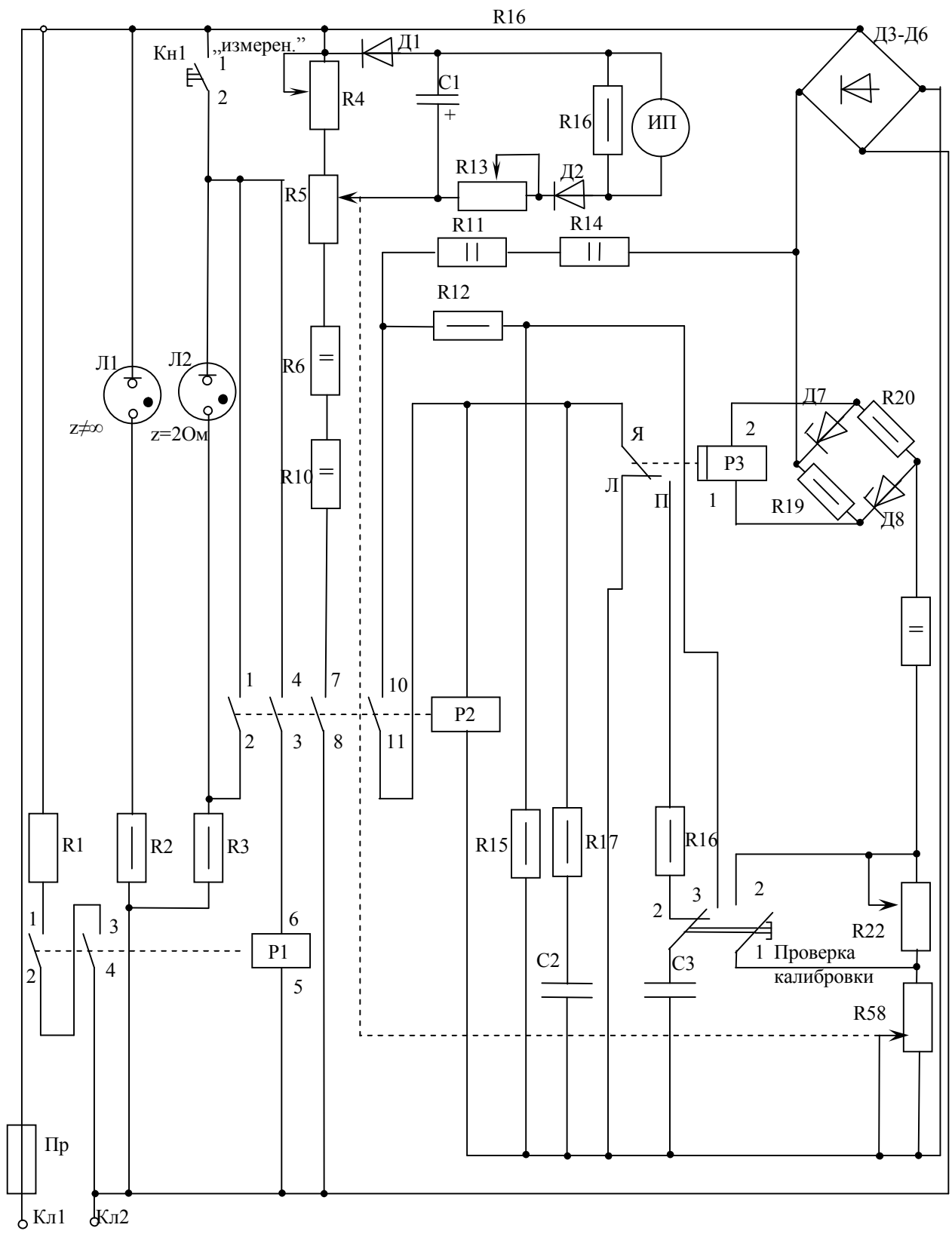


Рисунок 8.1 – Принципова схема приладу М-417

Принцип дії приладу заснований на вимірюванні падіння напруги на відомому опорі. При підключенні приладу до контрольованого об'єкту заряджає

конденсатор С3, який при натисненні кнопки «ПЕРЕВІРКА КАЛІБРУВАННЯ» розряджається через обмотку реле Р2. Реле Р2 спрацьовує і контактами 7.ю 8 включає дільника напруги схеми калібрування, контактами 1, 2 шунтує сигнальну лампу « $Z > 2 \text{ Ом}$ », контактами 3, 4 готує до роботи реле Р1 і контактами 10, 11 замикає ланцюг самоблокування.

Вимірювання проводять при натисненні кнопки «ВИМІРЮВАННЯ». Спрацьовує реле Р1 і своїми контактами включає у вимірювальний ланцюг реостат навантаження R1. Величина падіння напруги на резисторі R1 є різницею між фазною напругою і падінням напруги в ланцюзі фаза – нуль.

Оскільки опір резистора навантаження R1 є незмінним, падіння напруги тут залежить від величини опору ланцюгу фаза – нуль, що дозволяє отградуировать шкалу відлікового пристрою в одиницях опору.

Схема захисту забезпечує автоматичне розмикання вимірювального ланцюга при появі на корпусі контрольованого об'єкту небезпечної напруги. В цьому випадку падіння напруги на резисторі R1 зменшується і в діагоналі моста Д7, Д8, R19, R20 з'являється напруга такої полярності, при якій спрацьовує реле Р3, замикаючи контакти «Я» і «Л». При цьому реле Р2 розмикає ланцюг калібрування і ланцюг живлення реле Р1, яке відключає резистор навантаження R1.

При роботі з приладами дотримуйте наступні заходи техніки безпеки.

З приладом повинні працювати не менше двох чоловік. Якщо за умовами експлуатації неможливо відключити живлячу напругу, допускається підключати прилад без зняття напруги. В цьому випадку прилад необхідно одним затиском надійно з'єднати з корпусом контрольованого об'єкту, після чого другий затиск приладу підключити до фазного провідника. Приєднання необхідно проводити в гумових рукавичках.

Підготовка приладу до роботи:

- прилад встановлюють на горизонтальну поверхню;
- ручку «КАЛІБРУВАННЯ» встановлюють в крайнє ліве положення;
- приєднують провідники із затиском приладу;

– один провідник приєднують до корпусу контрольованого об'єкту, а другий – до однієї з фаз живлячої мережі.

Порядок роботи приладу:

подають напругу на вимірювану ділянку мережі. На приладі спалахує лампа «Z - -»;

натискають кнопку «ПЕРЕВІРКА КАЛІБРУВАННЯ» і ручкою «КАЛІБРУВАННЯ» встановлюють стрілку приладу на відмітку «0»;

натискають кнопку «ВИМІРЮВАННЯ» і відлічують свідчення за шкалою відлікового пристрою.

Величина опору ланцюгу фаза – нуль рівна свідченню приладу мінус 0,1 Ом (опір сполучних проводів). Час вимірювання не повинен перевищувати 7 із з інтервалом між вимірюваннями не менше 0,5 мин.

Загоряння сигнальної лампи «Z > 2 Ом» при натиснутій кнопці «ВИМІРЮВАННЯ» свідчить про те, що опір ланцюгу фаза – нуль контрольованого об'єкту більше 2 Ом.

Повторні вимірювання проводять тільки після перевірки калібрування.

8.3 Порядок виконання роботи

Схема мережі зображена на рисунку 8.2.

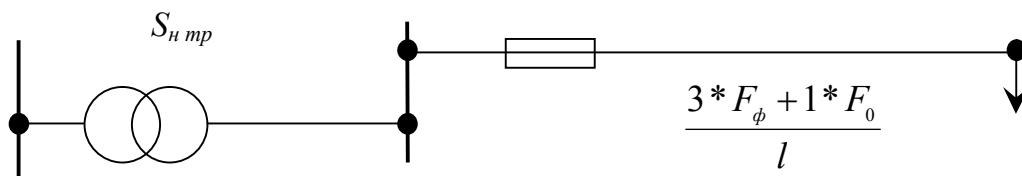


Рисунок 8.2 – Схема досліджуваної мережі

1. Відповідно до початкових даних для варіанту, заданого викладачем (табл. 8.1), визначити повний опір ланцюгу фаза – нуль. Необхідні довідкові дані приведені в табл. 8.2–8.4.

Таблиця 8.1 – Початкові дані, необхідні для виконання роботи

Варіант	Потужність трансформатора, кВА	Ісполнение лінії	Перетин фазного і нульового проводників, мм ²	Довжина лінії км.	Виконання захисту	Номінальний струм установки захисту, А
1	100	кабельне	3*50+1*25	0,38	Запобіжник	125
2	160	–	3*70+1*35	0,6	–	160
3	100	повітря	3*35+1*16	0,25	–	160
4	250	кабельне	3*95+1*35	0,71	Автоматична	200
5	400	–	3*50+1*25	0,49	–	125
6	100	повітря	3*70+1*50	0,59	Запобіжник	260
7	250	кабельне	3*50+1*25	0,465	автоматична	125

Таблиця 8.2 – Розрахункові значення повних опорів трансформаторів з схемою з'єднання Y/Yn – 12; приведені до напруги 400/230 В (середні дані при вищій напрузі 10 кВ)

Потужність трансформатора, кВА	100	160	250	400
Повний опір трансформатора струму замикання на корпус	0,78	0,49	0,31	0,19

Таблиця 8.3 – Середнє значення індуктивних опорів петлі прямого і зворотного дротів або жил кабелю, Ом/км

Умова прокладки	Індуктивний опір
Кабель до 1 кВ	0,15
Повітряні лінії 0,38 кВ	0,6

Таблиця 8.4 – Активні опори проводів і жил кабелів виконані з алюмінію, Ом/км

Номінальний перетин	Активний опір
16	1,98
25	1,28
35	0,92
50	0,64
70	0,46
95	0,34

2. Використовуючи формулу (8.1) і прийнявши фазну напругу $U_{\phi} = 220$ В, визначити мінімальне значення однофазного струму короткого замикання.

3. Вивчити принцип дії і порядок роботи з приладом типу М-417.

4. На лабораторному стенді зміряти опір (Z_n) ланцюгу фаза – нуль, включаючи трансформатор.

5. По формулі $I'_{к.з} = U_\phi / Z_n$ визначити струм однофазного короткого замикання.

6. Порівняти значення $I'_{к.з}$ отримані по п.п. 2 і 5.

7. Використовуючи формулу (7.4), перевірити, чи задовольняється необхідне співвідношення, і сформулювати вивід про надійність дії захисного апарату.

8.4 Порядок оформлення роботи

Звіт по роботі повинен містити:

схему мережі;

результати обчислень і експериментальні дані;

виводи.

Контрольні питання

1. Особливості розрахунку струмів короткого замикання в установках до 1000 Ст.

2. Вибір електричних апаратів за умовами однофазних струмів короткого замикання.

3. Принцип дії приладу М-417.

4. Правила роботи з приладом М-417.

Л і т е р а т у р а

1. Правила устройства электроустановок. Разд. 1.– М. : Энергоатомиздат, 1985.

2. Карпов Ф. Ф. Расчет городских распределительных электрических сетей/ Ф. Ф. Карпов. – М. : Энергия, 1969.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству в электрических сетях общего назначения. – М. : Издательство стандартов, 1988.
2. Качество электроэнергии в электрических сетях и способы его обеспечения / А. П. Антипов и др. – М. : МЭИ, 1992.
3. Артемов А. И. Электроснабжение цеха промышленного предприятия / А. И. Артемов. – М. : МЭИ, 1990.
4. Волобринский С. Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий / С. Д. Волобринский. – Л. : Энергия, 1976.
5. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б. И. Кудрин. – М. : Энергоатомиздат, 1995.
6. Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменев. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
7. Марушевич Н. С. Качество напряжения в городских электрических сетях / Н. С. Марушевич, Л. А. Солдаткина. – М. : Энергия, 1977.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

з навчальної дисципліни

**ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ
ТА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

*(для студентів усіх форм навчання: бакалаврів, спеціалістів та магістрів
галузі знань 14 – Електрична інженерія, спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, професійного
спрямування «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Укладачі : **ХАРЧЕНКО** Віктор Федорович,
ВОРОПАЙ Валентина Григорівна,
ЯКУНІН Олексій Анатолійович

Відповідальний за випуск: *Д. М. Калюжний*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарової*

План 2017 , поз. 209 М

Підп. до друку 07.04.2017 р.
Друк на ризографі
Зам. №

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 2,0
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.