

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ

“ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ”

(для студентів 3 курсу денної і 3, 4 курсів заочної форм навчання,
а також слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки
6.050701 – «Електротехніка та електротехнології»
зі спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”)

ХАРКІВ ХНАМГ 2008

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Електричні системи та мережі” (для студентів 3 курсу денної і 3, 4 курсів заочної форм навчання, а також слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» зі спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Сендерович Г.А., Щербакова П.Г., Довгалюк О.М., Калюжний Д.М. – Х.: ХНАМГ, 2008. – 56 с.

Укладачі: Г.А. Сендерович,
П.Г. Щербакова,
О.М. Довгалюк,
Д.М. Калюжний

Рецензент: проф., д.т.н. О.Г. Гриб

Рекомендовано кафедрою “Електропостачання міст”,
протокол № 9 від 24.05.2007 р.

ЗМІСТ

Стор.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ.....	5
РОБОТА № 1. РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	6
1.1. Мета роботи	6
1.2. Зміст лабораторних досліджень.....	6
1.3. Опис моделі електропередачі.....	7
1.4. Підготовка до роботи	8
1.5. Порядок виконання роботи	10
1.6. Зміст звіту.....	12
1.7. Методичні вказівки з виконання аналізу результатів лабораторних досліджень.....	13
1.8. Контрольні запитання	15
РОБОТА № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЗАМКНУТОЇ НЕОДНОРІДНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ	16
2.1. Мета роботи	16
2.2. Загальні методичні вказівки.....	16
2.3. Опис макета лабораторної роботи.....	18
2.4. Домашня підготовка до виконання лабораторної роботи.....	20
2.5. Порядок виконання роботи	22
2.6. Зміст звіту.....	22
2.7. Методичні вказівки з проведення аналізу результатів лабораторних досліджень.....	23
2.8. Контрольні запитання	25
РОБОТА № 3. КРУГОВІ ДІАГРАМИ ПОТУЖНОСТІ.....	25
3.1. Мета роботи	25
3.2. Зміст лабораторних досліджень.....	26
3.3. Опис лабораторного стенда.....	27
3.4. Підготовка до роботи	28
3.5. Порядок виконання роботи	30
3.6. Зміст звіту.....	31
3.7. Методичні вказівки з виконання аналізу результатів лабораторних досліджень.....	31
3.8. Контрольні запитання	32
РОБОТА № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДАЛЕКОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ.....	32
4.1. Мета роботи	32
4.2. Загальні методичні вказівки.....	33
4.3. Опис макета лабораторної роботи.....	38
4.4. Домашня підготовка до виконання лабораторної роботи.....	39
4.5. Порядок виконання роботи	39
4.6. Зміст звіту.....	40
4.7. Методичні вказівки з проведення аналізу результатів лабораторних досліджень.....	40

4.8. Контрольні питання	40
РОБОТА № 5. ПРОГРАМА РОЗРАХУНКІВ СТАЛИХ РЕЖИМІВ	
ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ РРС-9.....	41
5.1. Мета роботи	41
5.2. Загальні методичні вказівки.....	411
5.3. Блок-схема алгоритму розрахунку сталого режиму методом Зейделя.....	42
5.4. Домашня підготовка до виконання лабораторної роботи.....	45
5.5. Порядок виконання роботи	46
5.6. Зміст звіту.....	46
5.7. Методичні вказівки з проведення аналізу результатів розрахунку режимів	47
5.8. Контрольні запитання.....	47
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	48
ДОДАТКИ	49

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

У курсі “Електричні системи і мережі” вивчаються будова, основи техніко-економічних і електричних розрахунків електричних систем і мереж, принципи їхньої побудови і проектування, використання при розрахунках ЕОМ, наводяться дані про роботу електричних мереж.

Мета викладання дисципліни – надати студентам міцні знання основних принципів, на яких ґрунтується розвиток електричних систем і мереж; формування уявлень про основні проблеми електроенергетики і способи їхнього вирішення.

Завдання вивчення дисципліни: формування у студентів на стадії підготовки бакалаврів електроенергетичного профілю системи базових знань про методологічні основи аналізу режимів і проектування електричних мереж електропостачання, закріплення теоретичних знань і вироблення навичок їхнього застосування при виконанні розрахунків з цієї дисципліни й у забезпечуваних курсах, а також у практичній інженерній діяльності.

Для студентів напряму підготовки “Електротехніка” зі спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання” передбачено наступні форми вивчення матеріалу з курсу “Електричні системи та мережі”: лекції, практичні заняття, лабораторні роботи, виконання двох розрахункових завдань і курсового проекту, а також самостійна робота над літературою і виконання завдань і проекту.

Ці вказівки призначено для надання студентам методичної допомоги при підготовці та виконанні лабораторних робіт.

РОБОТА № 1. РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

1.1. Мета роботи

Метою роботи є дослідження ефективності різних засобів регулювання напруги й одержання навичок розрахунку пристроїв регулювання напруги.

1.2. Зміст лабораторних досліджень

Робота проводиться на статичній моделі електричної системи змінного струму. Регулювання напруги вивчається для найпростішої мережі 110 кВ, що представлена на рис. 1.1.

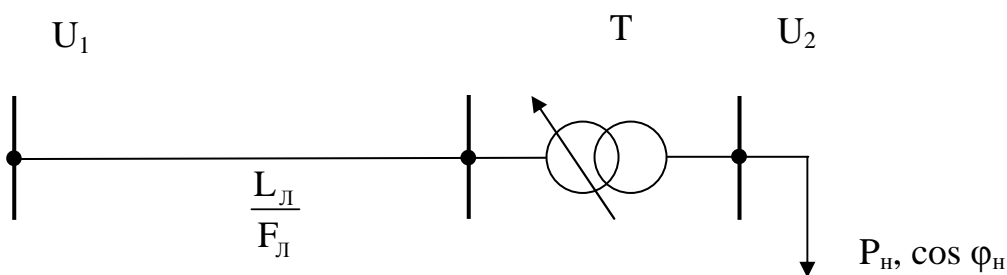


Рис. 1.1 - Однолінійна схема електричної мережі

У завданні на роботу (табл. П 1.1) вказуються: навантаження підстанції $P_n, \cos \varphi_n$, номінальна потужність і тип понижуючого трансформатора T , довжина L і марка проводів лінії. Крім того, задають напругу, яка підтримується на початку лінії U_1 і номінальну напругу вторинної мережі прийомної підстанції U_2 . Припустимі відхилення напруги на шинах нижчої напруги підстанції задає керівник.

У лабораторній роботі як засоби регулювання напруги в електричній системі вивчають дії наступних пристроїв:

- трансформаторів із пристроями регулюванням напруги під навантаженням (РПН);
- синхронних компенсаторів;
- конденсаторів поперечної компенсації;
- конденсаторів поздовжньої компенсації.

1.3. Опис моделі електропередачі

Модель електропередачі являє собою набір елементів схеми заміщення найпростішої електричної системи. Тут є набір активних і реактивних (індуктивних й ємнісних) опорів для моделювання лінії електропередачі, навантаження й трансформатора. Принциповій схемі моделі відповідає мнемонічна схема, що нанесена на лицьовій панелі моделі.

Крім того, модель має набір ємнісних елементів (БК) і модель синхронного компенсатора. Ці елементи можуть бути підключені до різних точок електропередачі за допомогою з'єднувальних проводів.

Принципова схема установки наведена на рис. 1.2.

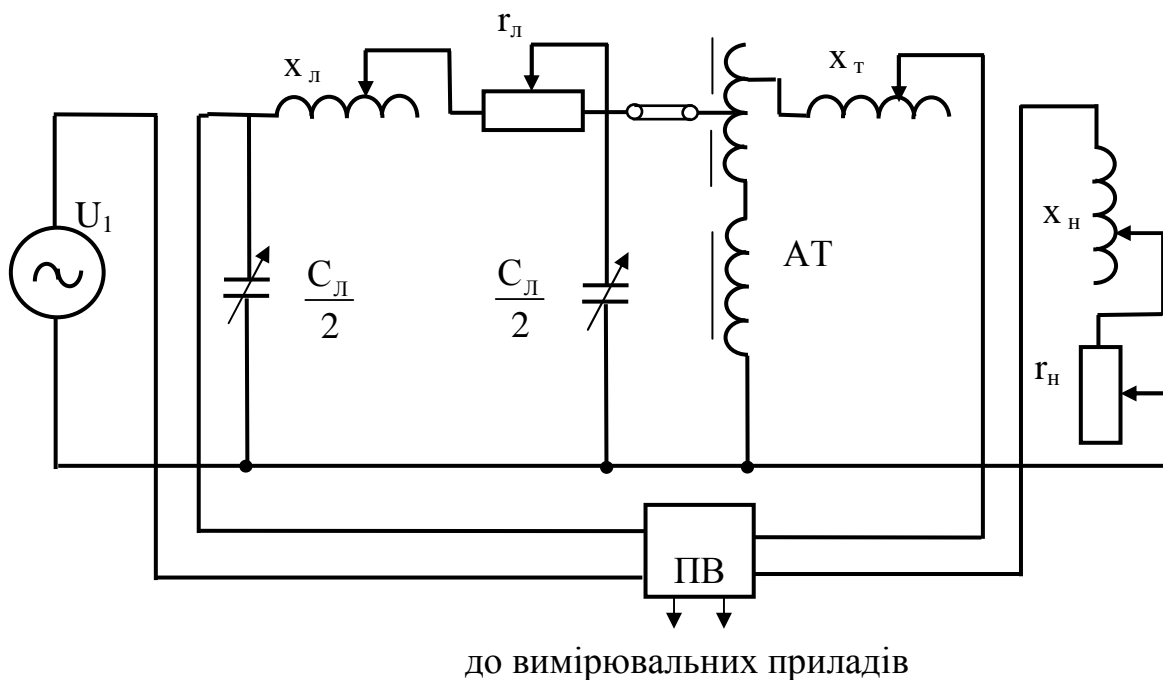


Рис. 1.2 - Принципова схема установки:

ПВ – перемикач вимірів; U_1 – пристрій, що імітує напруга на шинах ВН електростанції; АТ – автотрансформатор

1.3.1. Трансформаторний елемент складається з автотрансформатора, набору активних й індуктивних опорів і перемикача коефіцієнта трансформації трансформатора.

Автотрансформатор має відгалуження для регулювання коефіцієнта трансформації (K_T). Для нульового відгалуження $K_T = 1$, що забезпечує приведення параметрів вторинного ланцюга до сторони високої напруги.

1.3.2. Для імітації режиму роботи синхронного компенсатора на моделі електропередачі передбачено пристрій, що складається з наступних елементів:

- магазину ємнісних опорів з відпайками;
- магазину індуктивних опорів з відпайками;
- перемикача для включення ємнісних й індуктивних опорів.

Принципова схема моделі компенсатора реактивної потужності наведена на рис. 1.3.

Включення ємнісного опору відповідає роботі синхронного компенсатора в режимі перезбудження як генератора реактивної потужності. Включення індуктивного опору відповідає режиму споживання синхронним компенсатором реактивної потужності (робота в режимі недозбудження).

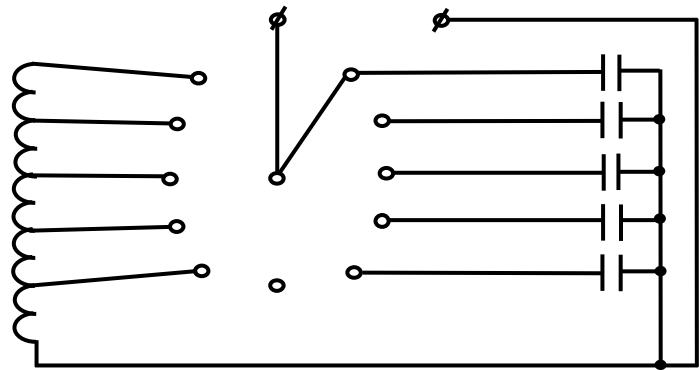


Рис. 1.3 - Схема моделі синхронного компенсатора

1.3.3. Для виміру струму, напруги й потужності в розрахунковій схемі призначений комплект приладів (амперметр, вольтметр і ватметр). Потужність і струм вимірюють на початку лінії і на навантаженні, напругу - в будь-якій точці схеми.

1.4. Підготовка до роботи

При домашній підготовці студенти відповідно до заданого варіанта (табл. П 1.1) визначають опір й провідність лінії, виходячи з П-подібної схеми її заміщення й понижуючого трансформатора, виходячи з Г-образної схеми його заміщення (рис. 1.4). Оскільки заданим є напруга на шинах 110 кВ електричної

станції або підстанції, то встановлені на них генератори і підвищувальні трансформатори не вводяться в схему заміщення мережі.

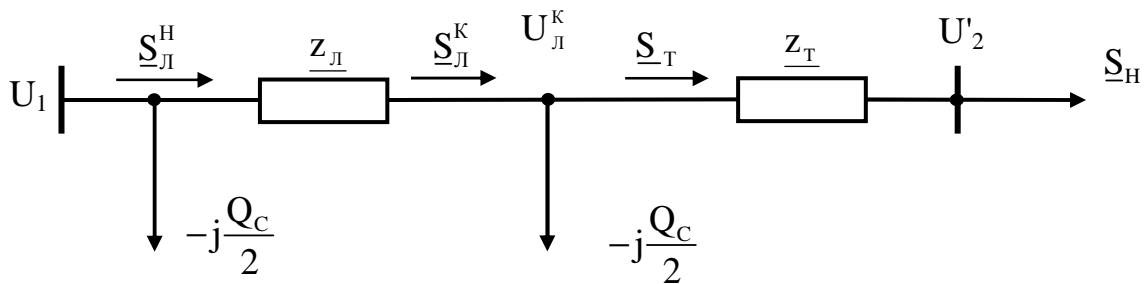


Рис. 1.4 - Схема заміщення мережі 110 кВ

Відповідно до припустимого відхилення напруги і номінальній напрузі мережі нижчої напруги (НН) визначають бажані напруги на шинах 6-10 кВ підстанції. Далі знаходять наведені значення напруги за основним коефіцієнтом трансформації понижуючих трансформаторів для всіх режимів мережі.

За масштабними коефіцієнтами визначають напруги, навантаження, опори і провідність схеми для її зборки та встановлення необхідного режиму на моделі.

Масштабні коефіцієнти вибирають так, щоб не перевищити напруги, які допускають в моделі, $U_{\text{М доп}} = 100-150 \text{ В}$ та струм $I_{\text{М доп}} = 1,0 \text{ А}$.

Значення масштабних коефіцієнтів за напругою у вузлах і опором елементів мережі:

$$m_U = 1 \div 2 \frac{\text{кВ}_{\text{оп}}}{\text{В}_{\text{М}}}; \quad m_Z = 1 \div 2 \frac{\text{ОМ}_{\text{оп}}}{\text{ОМ}_{\text{М}}}. \quad (1.1)$$

Значення масштабних коефіцієнтів за струмом і потужністю визначають за формулами

$$m_I = \frac{m_U}{m_Z}, \quad m_S = m_U \cdot m_I = \frac{m_U^2}{m_Z}.$$

При виборі $m_U = 1 \frac{\text{кВ}_{\text{OP}}}{\text{В}_M} = 10^3$, $m_Z = 1 \frac{\text{ОМ}_{\text{OP}}}{\text{ОМ}_M} = 1$ виходить

$$m_I = 1 \frac{\text{кА}_{\text{OP}}}{\text{А}_M} = 10^3, \quad m_S = 1 \frac{\text{МВ} \cdot \text{А}_{\text{OP}}}{\text{В} \cdot \text{А}_M} = 10^6. \quad (1.2)$$

Параметри схеми мережі, що будують на моделі, записують на схемі (рис.1.5).

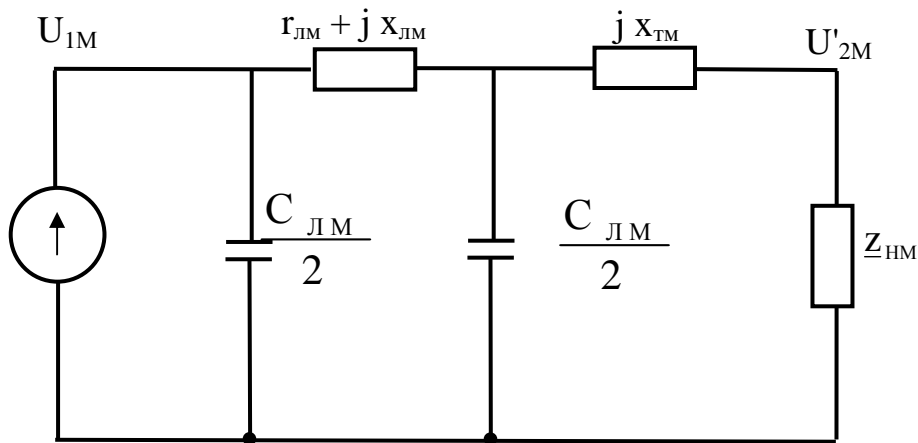


Рис. 1.5 - Схема зборки на моделі

Ємність ліній визначаємо з умови:

$$Q_C = U_{\text{ном}}^2 \cdot \omega \cdot C_L, \quad (1.3)$$

де ω – кутова частота змінного струму ($\omega = 314$).

Виконання підготовленої частини є допуском до роботи на стенді. **У підготовчу частину входять заготовки для табл. П1.2.**

1.5. Порядок виконання роботи

Роботу на стенді починають з ознайомлення зі схемою моделі. **Включення живлення допускається тільки з дозволу викладача.** Далі роботу виконують у наступній послідовності.

1.5.1. Виставити навантаження на стороні НН трансформатора P_2 , $\cos\varphi_2$ відповідно до заданого варіанта (табл. 1.1). Для цього набрати, $r_{Л} = x_{Л} = x_{Т} = 0$, $n_{\text{ОТВ}} = 0$ ($n_{\text{ОТВ}}$ – номер відгалуження РПН). Напругу на навантаженні підтримувати незмінною і рівною бажаному наведеному:

$$U'_{2М\text{ЖЕЛ}} = U_{2М\text{ЖЕЛ}} \cdot \frac{U_{1Т\text{НОМ}}}{U_{2Т\text{НОМ}}} = U_{2\text{ОР}\text{ЖЕЛ}} \cdot \frac{U_{1Т\text{НОМ}}}{U_{2Т\text{НОМ}}} \cdot \frac{1}{m_U}. \quad (1.4)$$

Значення бажаної напруги на стороні НН $U_{2\text{ОР}\text{ЖЕЛ}} = 1,05 \cdot U_{2\text{НОМ}}$ для режиму найбільших навантажень і $U_{2\text{ОР}\text{ЖЕЛ}} = U_{2\text{НОМ}}$ для режиму найменших навантажень. Режим задає викладач.

Навантаження виставляється магазинами активних і реактивних опорів за ватметром і фазометром. **Після того, як навантаження виставлене, положення перемикачів магазинів опорів не міняють до кінця лабораторної роботи** ($Z_{\text{НМ}} = \text{const}$).

1.5.2. Дослідження без регулювання напруги:

- набрати параметри схеми заміщення $r_{ЛН}$, $x_{ЛН}$, $x_{ТМ}$, $\frac{C_{ЛМ}}{2}$;
- вивести пристрій РПН ($n_{\text{ОТВ}} = 0$);
- виставити в началі лінії електропередачі $U_{1М} = U_{1\text{ОР}} / m_U$;
- замірити в началі лінії активну потужність $P_{1М}$ і коефіцієнт потужності $\cos\varphi_1$;
- замірити наприкінці лінії наведену напругу $U'_{2М}$ і активну потужність $P_{2М}$;
- визначити втрати активної потужності $\Delta P_M = P_{1М} - P_{2М}$.

1.5.3. Дослідження регулювання напруги пристроєм РПН:

- підібрати й зафіксувати відгалуження РПН ($n_{\text{ОТВ}}$), при якому $U'_{2М} = U'_{2М\text{ЖЕЛ}}$;
- якщо діапазон регулювання РПН недостатній, зафіксувати значення $U'_{2М}$, що отримане на граничному відгалуженні пристрою РПН;

- замірити $P_{1M}, P_{2M}, \cos \varphi_1$;
- визначити ΔP_M ;
- виключити живлення моделі.

1.5.4. Дослідження поперечного регулювання напруги:

- встановити $n_{отв} = 0$;
- підключити батарею конденсаторів (БК);
- подати живлення;
- підібрати і зафіксувати ємність БК, при якій $U'_{2M} = U'_{2M \text{ ЖЕЛ}}$;
- замірити P_{1M}, P_{2M} ;
- якщо виконати умову $U'_{2M} = U'_{2M \text{ ЖЕЛ}}$ не вдається, то треба зафіксувати найближче значення U'_{2M} до $U'_{2M \text{ ЖЕЛ}}$ і відповідну ємність БК;
- визначити ΔP_M ;
- відключити живлення.

1.5.5. Дослідження поздовжнього регулювання напруги робиться аналогічно 1.5.4.

Відмінність полягає у тому, що БК включаються послідовно в розсічку лінії. При цьому БК виконує функцію установки поздовжньої компенсації (УПК).

1.5.6. Під час дослідів підтримувати $U_1 = \text{const}$.

1.6. Зміст звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- 1) мету роботи, схеми мережі і лабораторної установки;
- 2) параметри схеми заміщення;
- 3) результати лабораторних досліджень з вказівкою отриманих результатів у масштабах моделі й оригіналу;
- 4) аналіз результатів лабораторних досліджень.

Дослідні й розрахункові дані заносяться в табл. П1.2.

1.7. Методичні вказівки з виконання аналізу результатів лабораторних досліджень

Аналіз результатів містить в собі аналітичний розрахунок режимів, що моделюються на стенді, і порівняння розрахункових і досліджених параметрів. Розрахунки виконують для кожного із проведених досліджень.

1.7.1. Розрахунки з дослідження без регулювання напруги (1.5.2). Розрахунок виконують за схемою заміщення (рис. 1.4) в масштабі оригіналу. Потрібно одержати розрахункове значення наведеної вторинної напруги. Хід розрахунків:

$$U_{\text{л}}^{\text{к}} = U_1 - \Delta U_{\text{л}} = U_1 - \frac{P_1 r_{\text{л}} + P_1 x_{\text{л}} \operatorname{tg} \varphi_1}{U_1}; \quad (1.5)$$

$$\underline{S}_{\text{л}}^{\text{к}} = \underline{S}_{\text{л}}^{\text{н}} - \Delta \underline{S}_{\text{л}} = P_1 + j P_1 \operatorname{tg} \varphi_1 - \left(\frac{P_1}{U_1 \cos \varphi_1} \right)^2 (r_{\text{л}} + j x_{\text{л}}); \quad (1.6)$$

$$\underline{S}_{\text{т}} = P_{\text{л}}^{\text{к}} + j Q_{\text{л}}^{\text{к}} - j \frac{Q_{\text{с}}}{2}; \quad (1.7)$$

$$U'_{2-0} = U_{\text{л}}^{\text{к}} - \Delta U_{\text{т}} = U_{\text{л}}^{\text{к}} - \frac{P_{\text{т}} r_{\text{т}} + Q_{\text{т}} x_{\text{т}}}{U_{\text{л}}^{\text{к}}}. \quad (1.8)$$

У наведених формулах індекси відповідають позначенням на рис. 1.4. Активний опір трансформатора прийняти $r_{\text{т}} = 0$, значення φ_1 – з виміру $\cos \varphi_1$. U'_{2-0} – значення U'_2 при нульовому відгалуженні РПН.

1.7.2. Розрахунки з дослідження з регулюванням напруги пристроєм РПН (1.5.3).

Потрібно розрахувати необхідне відгалуження РПН і визначити дійсну напругу на низькій стороні трансформатора.

Розрахункове значення відгалуження:

$$n_{\text{ОТВ}}^{\text{РАСЧ}} = \left(\frac{U'_{2-0} \cdot U_{2\text{ТНОМ}}}{U_{2\text{ЖЕЛ}} \cdot U_{1\text{ТНОМ}}} \right) \cdot \frac{100}{\Delta U_{\text{РЕГ}} \%}. \quad (1.9)$$

Крок регулювання напруги для трансформатора лабораторної роботи $\Delta U_{\text{РЕГ}} = 2,5 \%$, діапазон регулювання $\pm 10 \%$.

Отримане значення $n_{\text{ОТВ}}^{\text{РАСЧ}}$ округлити до найближчого цілого значення $n_{\text{ОТВ}}$. Якщо $n_{\text{ОТВ}}^{\text{РАСЧ}}$ виходить за межі регулювання РПН, то прийняти в якості $n_{\text{ОТВ}}$ граничне значення $n_{\text{ОТВ}} = \pm 4$.

Для знаходження дійсної напруги на низькій стороні слід визначити дійсний коефіцієнт трансформації

$$K_{\text{ТДЕЙСТВ}} = \frac{U_{1\text{ТНОМ}}}{U_{2\text{ТНОМ}}} \cdot \left(1 + n_{\text{ОТВ}} \cdot \frac{\Delta U_{\text{РЕГ}} \%}{100} \right). \quad (1.10)$$

Дійсна напруга дорівнює:

$$U_{2\text{ДЕЙСТВ}} = \frac{U'_{2-0}}{K_{\text{ТДЕЙСТВ}}}. \quad (1.11)$$

1.7.3. Розрахунки з дослідження поперечного регулювання (1.5.4).

Слід розрахувати потужність БК й ємність її конденсаторів.

$$Q_{\text{БК}} = \frac{U'_{2\text{ЖЕЛ}} - U'_{2-0}}{x_{\Sigma}} \cdot U'_{2\text{ЖЕЛ}}, \quad (1.12)$$

де $x_{\Sigma} = x_{\text{Л}} + x_{\text{Т}}$.

Провідність і ємність батареї конденсаторів:

$$B_{\text{БК}} = \frac{Q_{\text{БК}}}{(U'_2)^2}; c_{\text{БК}} = \frac{B_{\text{БК}}}{\omega}. \quad (1.13)$$

1.7.4. Розрахунки з дослідження поздовжнього регулювання (1.5.5).

Знайти опір і ємність конденсаторів УПК, визначити коефіцієнт компенсації реактивного опору.

Опір і ємність УПК знаходять із рівнянь:

$$U'_{2\text{ЖЕЛ}} = U_1 - \frac{P_2 \cdot r_{\Sigma} + Q_2 \cdot (x_{\Sigma} - x_{\text{УПК}})}{U'_{2\text{ЖЕЛ}}}, \quad (1.14)$$

$$C_{\text{УПК}} = \frac{1}{\omega \cdot x_{\text{УПК}}}. \quad (1.15)$$

Відсоток компенсації - це відношення ємнісного опору конденсаторів УПК до індуктивного опору лінії:

$$C = \frac{x_{\text{УПК}}}{x_{\text{Л}}} \cdot 100\%. \quad (1.16)$$

1.7.5. Для всіх досліджень визначити розрахунковим шляхом втрати активної потужності в лінії:

$$\Delta P = \left(\frac{P_1}{U_1 \cos \phi_1} \right)^2 \cdot r_{\text{Л}}. \quad (1.17)$$

1.8. Контрольні запитання

1. Показники якості електроенергії.
2. Вплив якості електроенергії на роботу електроприймачів й електричних апаратів.
3. Методи регулювання напруги.
4. Засоби регулювання напруги.
5. Пристрій РПН.
6. Додаткові засоби регулювання напруги.
7. Лінійні регулювальні трансформатори.

РОБОТА № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЗАМКНУТОЇ НЕОДНОРІДНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Мета роботи

Метою роботи є вивчення режиму роботи неоднорідної замкнутої мережі, дослідження методів зниження впливу неоднорідності на втрати потужності в мережі, оптимізація режимів роботи мережі.

2.2. Загальні методичні вказівки

Достоїнством замкнутих електричних мереж є підвищення надійності електропостачання споживачів. Це пояснюється можливістю забезпечення живлення від декількох незалежних джерел по лініях електропередачі, що проходить різними трасами.

До однорідних відносять мережі з однаковими показниками неоднорідності ϵ_j у кожній j -й лінії:

$$\epsilon_j = \frac{x_j}{r_j} = \text{const}. \quad (2.1)$$

При невиконанні умови (2.1) мережа є неоднорідною.

Відомо, що економічний (з мінімальними втратами потужності) і природний поточкорозподіл збігаються в замкнутих мережах, якщо мережі однорідні. У неоднорідних замкнутих мережах природний поточкорозподіл відрізняється від економічного і з'єднаний з додатковими втратами потужності.

Додаткові втрати в неоднорідній мережі визначають виникненням у замкнутих схемах зрівняльних контурних струмів \underline{I}_{yp} . При цьому струми природного поточкорозподілу " \underline{I}_j^e " і економічного поточкорозподілу " \underline{I}_j^o " у кожній галузі зв'язані наступним вираженням:

$$\underline{I}_j^e = \underline{I}_j^o \pm \underline{I}_{yp}. \quad (2.2)$$

Виникнення зрівняльних контурних струмів може бути обумовлено не тільки неоднорідністю мережі, але й неврівноваженістю коефіцієнтів трансформації в замкнутому контурі.

Зниження впливу зрівняльних контурних струмів на втрати потужності в мережі може досягатися наступними заходами:

1. Зниженням неоднорідності мережі шляхом зміни перерізу проводів або застосуванням установок поздовжньої компенсації (УПК).

2. Створенням зрівняльних компенсуючих струмів, тобто примусовим регулюванням потоків потужності в контурах. Це досягається шляхом введення в замкнуті контури додаткових ЕРС за рахунок поздовжньо-поперечного регулювання напруги за допомогою лінійних регуляторів і вольтододаткових трансформаторів з комплексними коефіцієнтами трансформації.

3. Розмиканням контурів мережі.

Зміна перерізу проводів і застосування УПК міняють співвідношення між активними і результативними реактивними опорами в лініях і можуть бути використані для зниження величини неоднорідності в мережі. Але такі заходи вимагають значних капіталовкладень. Їхнє використання з метою зниження втрат потужності, викликаних неоднорідністю, не знайшло застосування в практиці експлуатації електричних мереж у силу відсутності економічної доцільності. У той час зниження неоднорідності мережі може спостерігатися, як супутній фактор, при проведенні названих заходів в інших цілях. Заміна проводів і використання УПК у живильних і системоутворюючих мережах звичайно пов'язані з підвищенням пропускної здатності лінії.

Примусове регулювання потоків активної (P) і реактивної (Q) потужностей знаходить застосування в замкнутих мережах з різними номінальними напругами. Наприклад, при значних транзитах потужності в паралельно працюючих і пов'язаних за допомогою автотрансформаторів мереж 110÷330 кВ або 330÷750 кВ. Зміна відгалуження пристрою РПН трансформатора створює додаткову поздовжню складову ЕРС. Через перевагу індуктивного опору в замкнутому контурі мережі поздовжня складова ЕРС змінює потекорозподілення, головним чином, реактивної потужності. Для зміни потоку активної потужності потрібне введення поперечної складової ЕРС. Це здійснюється шляхом установки додаткового вольтододаткового регулювального трансформатора T_2 (ВРТ). Регулювальна обмотка ВРТ включається послідовно з обмоткою ВН силового трансформатора T_1 з боку нейтралі, а обмотка збудження підключається до обмотки НН силового трансформатора.

Розмикання контурів мережі – найпоширеніший спосіб зменшення втрат у неоднорідних мережах. При цьому завдання полягає у визначенні місць розмикання, при яких досягається мінімум втрат потужності. У простих випадках визначення оптимальних місць розмикання можна визначити шляхом проведення декількох розрахунків при різних місцях розмикання і вибору варіанта з меншими втратами. Експлуатація розподільних мереж з номінальною напругою до 35 кВ здійснюється, як правило, по розімкнутих схемах. Для цих мереж вибір оптимальних місць розмикання є однієї з найважливіших завдань.

2.3. Опис макета лабораторної роботи

На лицьовій панелі макета представлена схема системи електропостачання підстанцій ПС1 - ПС3 (рис. 2.1.). Живлення підстанцій здійснюється від ТЕС по лініях електропередачі 110 кВ й 330 кВ. Параметри ліній і трансформаторів наведені в таблицях П2.1, П2.2.

Для спрощення моделювання прийнято, що в розглянутому завданні коефіцієнти потужності навантажень $P_1 - P_4$ дорівнюють одиниці, $\cos\varphi_{ni} = 1$. Статична характеристика навантажень по напрузі має вигляд:

$$P_i = P_{iном} (1 + \Delta U^*)^2, \quad (2.3)$$

де $P_{iном}$ – значення розрахункового навантаження i -ї підстанції при номінальній напрузі; ΔU^* – відносне значення відхилення напруги.

Величини навантажень $P_{iном}$ залежно від заданого викладачем варіанта дослідження наведені в табл. П2.3.

При виконанні моделі прийнято, що при номінальній напрузі 110 й 330 кВ в електричній мережі відповідає напрузі 50 В моделі. При цьому масштаби моделювання напруги відповідно рівні

$$m_{U110} = \frac{110 \text{ кВ}}{50 \text{ В}} = 2,2 \cdot 10^3; \quad m_{U330} = \frac{330 \text{ кВ}}{50 \text{ В}} = 6,6 \cdot 10^3. \quad (2.4)$$

Масштаб моделювання з потужності для системи 110 і 330 кВ однаковий:

$$m_s = \frac{S_{сист}}{S_{мод}} = 9,68 \cdot 10^6; \quad (2.5)$$

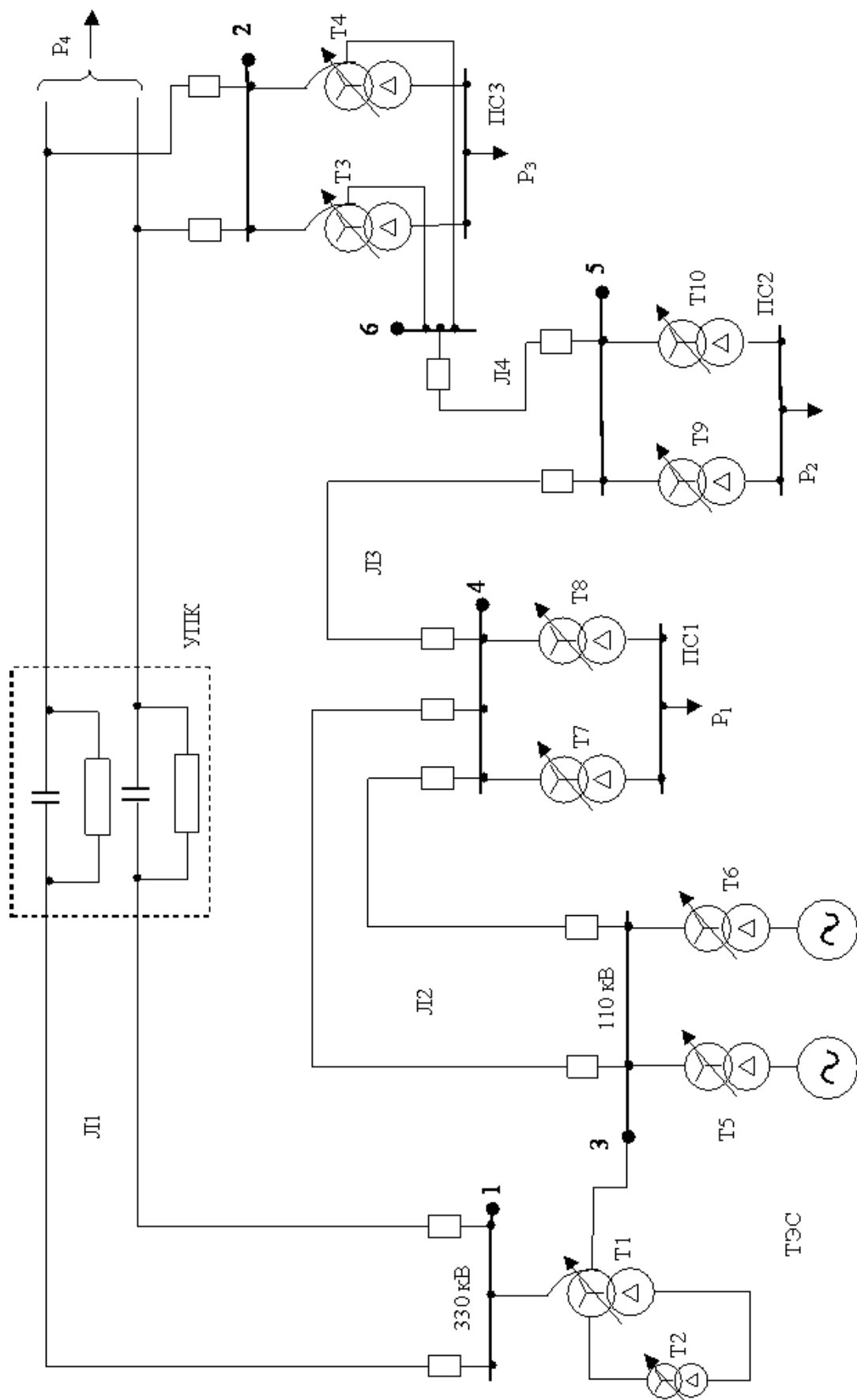


Рис. 2.1 Схема неоднорідної мережі

При цьому масштаби моделювання для лінійних струмів і опорів становлять:

для системи 110 кВ:

$$m_I = \frac{m_S}{m_U} = 4,4 \cdot 10^3; \quad m_Z = \frac{m_U}{m_I} = 0,5; \quad (2.6)$$

для системи 330 кВ:

$$m_I = 1,467 \cdot 10^3; \quad m_Z = 4,5. \quad (2.7)$$

Підключення вимірювальних приладів у моделі здійснюється шляхом натискання вимірювальної кнопки. Номер вимірювальної кнопки відповідає номеру точки на схемі моделі, в якій необхідно зробити вимір.

2.4. Домашня підготовка до виконання лабораторної роботи

2.4.1. Скласти схему заміщення мережі. Розрахувати параметри схеми заміщення елементів мережі. Всі параметри привести до напруги 110 кВ. Вважати коефіцієнт трансформації для всіх автотрансформаторів рівним номінальному

$$K_T^{B-C} = \frac{U_{ATном}^B}{U_{ATном}^C}. \quad (2.8)$$

Опір ПЛ 330 кВ, що наведений до 110 кВ, дорівнює:

$$Z'_{330} = \frac{Z_{330}}{(K_T^{B-C})^2}. \quad (2.9)$$

Активні опори автотрансформаторів знаходять за формулами

$$r_{\text{АТ}}^{\text{общ}} = \Delta P_{\text{к}}^{\text{В-С}} \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2}; \quad (2.10)$$

$$r_{\text{АН}}^{\text{В}} = r_{\text{АТ}}^{\text{С}} = \frac{r_{\text{АТ}}^{\text{общ}}}{2}. \quad (2.11)$$

Реактивні опори автотрансформаторів:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{К}}^{\text{В}} &= 0,5 \left(U_{\text{К}}^{\text{В-С}} + U_{\text{К}}^{\text{В-Н}} - U_{\text{К}}^{\text{С-Н}} \right); \\ U_{\text{К}}^{\text{С}} &= 0,5 \left(U_{\text{К}}^{\text{В-С}} + U_{\text{К}}^{\text{С-Н}} - U_{\text{К}}^{\text{В-Н}} \right); \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

$$x_{\text{АТ}}^{\text{В}} = \frac{U_{\text{К}}^{\text{В}} \left(U_{\text{АТНОМ}}^{\text{С}} \right)^2}{100 S_{\text{АТНОМ}}}; \quad x_{\text{АТ}}^{\text{С}} = \frac{U_{\text{К}}^{\text{С}} \left(U_{\text{АТНОМ}}^{\text{В}} \right)^2}{100 S_{\text{АТНОМ}}}. \quad (2.13)$$

2.4.2. Розрахувати економічний поточкорозподіл в мережі. Навантаження прийняти відповідно до завдання (табл. П2.3).

Для розрахунку економічного поточкорозподілу прийняти, що всі реактивні опори елементів мережі дорівнюють нулю ($x_j = 0$).

Розрахунок робиться як для звичайної кільцевої мережі. Вважати, що джерело живлення підключене до шин 330 кВ ГРЕС. Транзитний потік по ПЛ 330 кВ враховувати як звичайне навантаження (P_4). Вплив генераторів ГРЕС не враховувати.

Економічний поточкорозподіл в масштабах оригіналу і моделі нанести на схему заміщення з вказівкою місця поточкорозподілу.

Виконання вимог до домашньої підготовки є допуском до роботи на лабораторному стенді.

2.5. Порядок виконання роботи

На лабораторному стенді проводять дослідження режимів роботи мережі, які містять у собі ряд задач.

2.5.1. Моделювання природного поточкорозподілу. Набрати навантаження (P_1, P_2, P_3) понижуючих підстанцій відповідно до варіанта завдання. Включити вимикачі всіх ліній. Перемикачі відгалужень регулювальних трансформаторів установити в "0". Замірити напругу у вузлах, активну потужність і струм ліній. Нанести на схему заміщення модельні значення заміряних параметрів.

2.5.2. Дослідження примусового регулювання потоків потужності. Використовуючи поздовжнє й поперечне регулювання напруги, домогтися максимального наближення поточкорозподілу в мережі до економічного.

Для цієї мети включити вимірювальні прилади на лінію ГРЕС - ПС1. Міняючи відгалуження РПН автотрансформатора і вольтододакового трансформатора, одержати значення потужності, що протікає по цій лінії, рівної (або близької) розрахунковому значенню при економічному поточкорозподілі.

Нанести на схему заміщення отримані параметри режиму в масштабі моделі. Зафіксувати номери відгалужень трансформаторів.

2.5.3. Дослідження розмикання контурів. Повернути схему у вихідний стан, що відповідає природному поточкорозподілу.

1. Відключити лінію, що підходить ліворуч до місця економічного поточкорозподілу. Нанести на схему заміщення параметри режиму.

2. Відключити лінію, що підходить праворуч до місця економічного поточкорозподілу. Нанести на схему заміщення параметри режиму.

2.5.4. Кожне з проведених досліджень повинне бути нанесене на окрему схему заміщення.

2.6. Зміст звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

1. Мету роботи, схему мережі, що моделюється.

2. Схему заміщення мережі, розрахунок параметрів її елементів.
3. Розрахунок економічного поточкорозподілу, схему заміщення з нанесеним економічним поточкорозподілом у масштабах реальних вимірів і моделі.
4. Чотири схеми заміщення з нанесеними на них параметрами режиму в масштабах реальних вимірів і моделі:
 - а) природний поточкорозподіл
 - б) змушений поточкорозподіл з вказівкою положення регуляторів РПН і вольтододаatkового трансформатора;
 - с) два дослідження розмикання контурів;
5. Аналіз використаних методів зниження втрат у неоднорідній замкнутій мережі.
6. Висновки.

2.7. Методичні вказівки з проведення аналізу результатів лабораторних досліджень

2.7.1. Аналіз результатів зводиться до порівняння втрат потужності в різних досліджуваних режимах і зіставлення їх з втратами при економічному поточкорозподілі. Для виконання аналізу варто виконати наступні розрахунки.

1. Розрахувати сумарні втрати потужності при економічному розподілі за формулою

$$\Delta P^{\text{э}} = \sum_{j=1}^m \frac{P_j^2 + Q_j^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot r_j, \quad (2.14)$$

де j - номер лінії; m - кількість ліній у схемі заміщення.

2. Розрахувати сумарні втрати потужності у всіх проведених дослідженнях за формулою:

$$\Delta P = \sum_{j=1}^m 3 I_j^2 r_j. \quad (2.15)$$

2.7.2. Усі розрахунки робити в реальному масштабі. Розрахунки привести у звіті. Результати розрахунків показати в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. - Порівняння втрат потужності

Режим потоко- розподілу	Економі- чний	Природ- ний	Примусо- вий	Розмикання контуру в місці потокорозподілу	
				ліворуч	праворуч
$\Delta P, \text{МВт}$					

2.7.3. Для досвіду примусового потокорозподілу виконати розрахунок додаткової ЕРС $\Delta \underline{E}$:

$$\Delta \underline{E} = - \left(\frac{P_{\text{КУР}} r_{\text{К}} + Q_{\text{КУР}} x_{\text{К}}}{U_{\text{СР}}} + j \frac{P_{\text{КУР}} x_{\text{К}} - Q_{\text{КУР}} r_{\text{К}}}{U_{\text{СР}}} \right), \quad (2.16)$$

де $r_{\text{К}}$, $x_{\text{К}}$ – активний і реактивний опір контуру; $U_{\text{СР}}$ – середньоарифметичне значення напруги в мережі; $P_{\text{КУР}}$, $Q_{\text{КУР}}$ – активна й реактивна складові контурної потужності.

Зрівняльна активна контурна потужність визначається згідно з (2.2) як різниця потужностей при природному й економічному потокорозподілі на кожній з ділянок контуру. Наприклад,

$$P_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{КУР}} = P_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{Е}} - P_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{Э}}. \quad (2.17)$$

Аналогічно знаходимо реактивну контурну потужність:

$$Q_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{КУР}} = Q_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{Е}} - Q_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{Э}}. \quad (2.18)$$

Тому що навантаження чисто активні, то $Q_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{Э}} = 0$. Для природного потокорозподілу:

$$Q_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{Е}} = P_{\text{ГРЭС-1}}^{\text{Е}} \cdot \text{tg} \varphi, \quad (2.19)$$

$$\text{де } \varphi = \arccos \frac{P_{\text{ГРЭС-1}}^E}{S_{\text{ГРЭС-1}}^E} = \arccos \frac{P_{\text{ГРЭС-1}}^E}{3 \cdot I_{\text{ГРЭС-1}}^E \cdot U_1^E}.$$

2.8 Контрольні запитання

1. Види втрат електроенергії.
2. Методи зменшення втрат потужності в живильних мережах.
3. Методи зменшення втрат потужності в розподільних мережах.
4. Чому регулювання напруги не використовують як фактор зниження втрат потужності в розподільних мережах?
5. Які мережі називають однорідними? Чому в неоднорідних замкнутих мережах виникають додаткові втрати потужності?
6. Способи зниження втрат потужності в неоднорідних замкнутих мережах.

РОБОТА № 3. КРУГОВІ ДІАГРАМИ ПОТУЖНОСТІ

3.1. Мета роботи

Для аналізу умов роботи ЛЕП істотний інтерес представляє залежність потужності, що передається по лінії від величини та фази напруг, які підтримуються по кінцях лінії.

Співвідношення між активною (P) і реактивною (Q) потужностями при незмінних модулях напруг на початку (U_1) і наприкінці лінії (U_2) визначають кутом їхньої розбіжності по фазі (δ). При цьому графіки, що показують зміни векторів потужностей на початку (\underline{S}_1) і наприкінці (\underline{S}_2) лінії, називають *круговими діаграмами потужності*, оскільки кожна з них представляє окружність радіуса ρ .

Метою роботи є одержання навичок дослідження режимів роботи ЛЕП за допомогою кругових діаграм потужності.

3.2. Зміст лабораторних досліджень

У роботі за допомогою кругових діаграм досліджують режим передачі електричної енергії по одно- або дволанцюговій лінії 220 кВ, що зв'язує віддалену електростанцію (Г) із прийомною системою (С) (рис. 3.1).



Рис. 3.1 - Однолінійна схема електропередачі

Параметри схеми приймають відповідно до номера варіанта за табл. ПЗ.1. При складанні схеми заміщення (рис. 3.2) враховують тільки реактивні опори трансформаторів (x_T) і ЛЕП (x_L), а також ємнісна провідність ЛЕП (b_L). Опір електростанції задається опором трансформатора Т1, опір системи – опором трансформатора Т2. Параметри схеми заміщення приводяться до напруги 220 кВ.

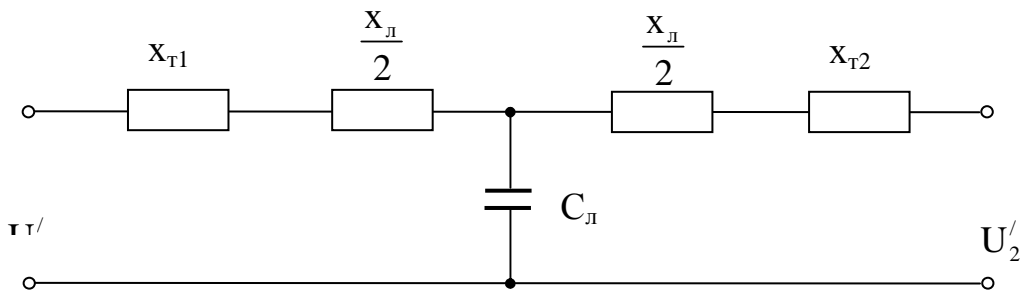


Рис. 3.2 - Схема заміщення мережі

Масштаби моделі m_U і m_z вибирають такими, щоб струм моделі не перевищував 2 А, а напруга моделі була б не вище 70 В.

3.3. Опис лабораторного стенда

Стенд, на якому виконується ця робота, складається з наборів індуктивних й ємнісних опорів, зв'язаних один з одним за Т-образною схемою (рис. 3.3). До зажимів початку і кінця схеми підключені два незалежних джерела потужності.

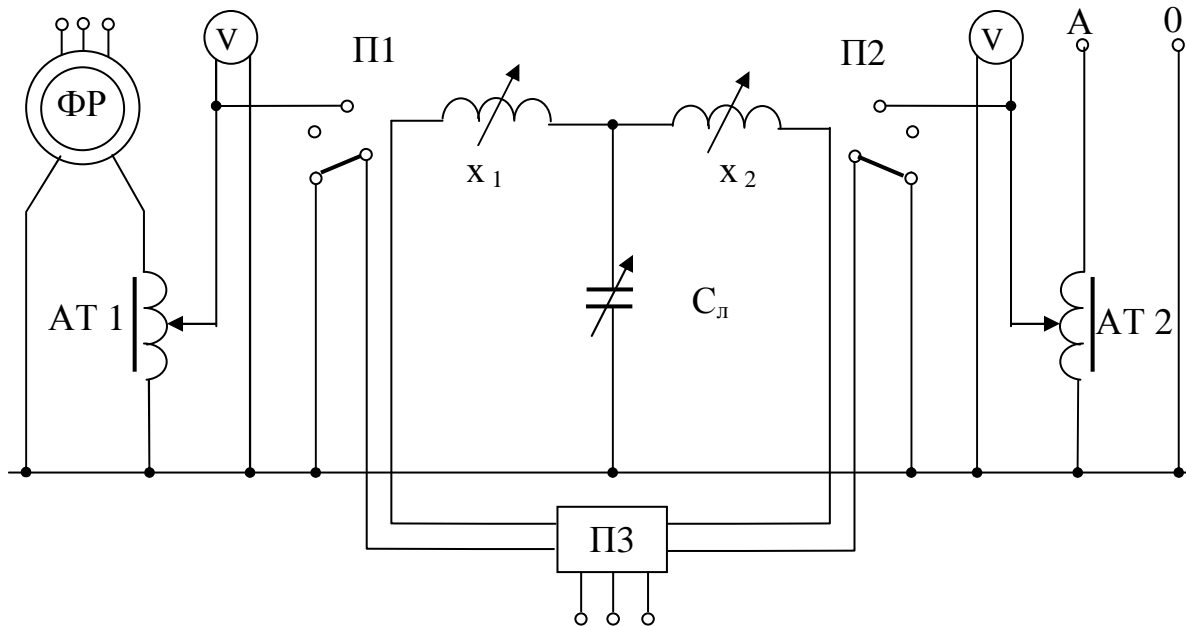


Рис. 3.3 - Принципова схема лабораторної установки

Напруга джерела, включеного на початку схеми, може регулюватися по величині й фазі. Напруга джерела, включеного наприкінці схеми, регулюється тільки по величині.

Для контролю над режимом роботи схеми і визначення необхідних параметрів цього режиму на стенді є комплект вимірювальних приладів.

Усі вхідні в схему опори і ємність виконані регульованими. Зміна величин опорів здійснюється перемикачами. Ємність підключається за допомогою вимикачів.

Живлення моделі здійснюється від лабораторного щитка. Регулювання напруги на початку й наприкінці схеми здійснюється автотрансформаторами АТ1 й АТ2, рукоятки яких виведені відповідно з лівої та правої сторони стенда. Живлення до АТ1 підводять від щитка через фазорегулятор, живлення до АТ2 -

від гнізда А-0. На початку та наприкінці схеми напруга від автотрансформаторів подається перемикачами П1 і П2. Обидва перемикачі працюють у трьох положеннях, що відповідають трьом можливим режимам відповідного кінця схеми: холостого ходу, короткого замикання і робочого режиму, в якому до цього кінця підводять робочу напругу.

Для постійного контролю над величиною напруги, що підтримується на кінцях схеми, на стенді служать два щитових вольтметри. Вольтметри встановлені над мнемонічною схемою і включені на напруги, що знімають із автотрансформаторів.

Для виміру кута δ між напругами початку й кінця лінії передбачений фазометр, струмове навантаження якого включене через активний опір R_0 на напругу моделі $U_{1м}$, а котушка напруги – на напругу моделі $U_{2м}$. Шкала фазометра відградуєвана в градусах.

Для точного виміру струму, активної й реактивної потужностей передбачений комплект електровимірювальних приладів, що підключається через перемикач П3 до початку або кінця схеми. Ланцюги напруги також можуть підключатися до початку або кінця схеми залежно від положення перемикача П3 через гнізда, що установлені на мнемонічній схемі.

На стендах передбачена світлова сигналізація, що вказує на мнемонічній схемі частину Т-образної схеми, в яку включені струмові ланцюги приладів, а також точку, напруга якої подається на прилади.

3.4. Підготовка до роботи

При домашній підготовці треба скласти схему заміщення, відповідно до заданого варіанта (табл. ПЗ.1) визначити її параметри, вибрати масштаби за опором, напругою, струмом, потужність і перерахувати параметри схеми відповідно до прийнятих масштабів.

Для складання схеми заміщення в табл. ПЗ.1 представлені довідкові дані елементів електричної мережі:

- реактивні опори трансформаторів x_T , що наведені до сторони ВН;
- реактивний опір лінії, який віднесено до 1 км її довжини x_0 ;
- поперечна реактивна провідність лінії, що віднесена до 1 км її довжини b_0 ;

Розрахунок реактивного опору лінії робимо за формулою

$$x_{л} = \frac{x_0 \cdot L_{л}}{n_{л}}, \quad (3.1)$$

де $L_{л}$ – довжина лінії, км; n - кількість паралельних ліній або ланцюгів.

Розрахунок зарядної ємності лінії в мкф робимо за формулою

$$C_{л} = \frac{b_0 \cdot L_{л} \cdot n_{л}}{\omega} \cdot 10^6, \quad (3.2)$$

де $\omega = 314$ - кутова частота.

Масштабні коефіцієнти вибирають так, щоб не перевищити напруги, що допускають у моделі, $U_{м доп} = 70$ В і струм $I_{м доп} = 2,0$ А. Рекомендується прийняти масштаб за опором $m_z = 1 \frac{Ом_{оп}}{Ом_{м}}$, що зручно для моделювання. Величина

максимально можливого модельного струму складе:

$$I_{м max} = \frac{2 \cdot U_{м доп}}{m_z \cdot (x_{T1} + x_{л} + x_{T2})}. \quad (3.3)$$

Далі перевіряється умова

$$I_{м max} \leq I_{м доп}. \quad (3.4)$$

Якщо для $m_z = 1 \frac{Ом_{оп}}{Ом_{м}}$ умова не виконується, то m_z варто збільшити до

такої величини, при якій буде забезпечене виконання нерівності (3.4). Після цього можна вважати, що у всьому діапазоні змін векторів модельних напруг по

кінцях ліній $\underline{U}_{1\text{ м}}$ і $\underline{U}_{2\text{ м}}$ не буде перевищений припустимий модельний струм $I_{\text{ м доп}}$. Потім вибираємо рівні значення модельних напруг по кінцях ліній, наприклад, $U_{1\text{ м}} = U_{2\text{ м}} = 50\text{ В}$. Вибір вільний у рамках припустимих значень $U_{\text{ м доп}}$.
Значення масштабних коефіцієнтів за напругою у вузлах:

$$m_{U1} = \frac{U'_{1\text{ оп}}}{U_{1\text{ м}}} = \frac{U_{1\text{ оп}} \cdot k_{T1}}{U_{1\text{ м}}} = \frac{U_{1\text{ оп}}}{U_{1\text{ м}}} \cdot \frac{U_{T1\text{ ном}}^{\text{ВН}}}{U_{T1\text{ ном}}^{\text{НН}}} \cdot \frac{kB_{\text{ оп}}}{B_{\text{ м}}}; \quad (3.5)$$

$$m_{U2} = \frac{U'_{2\text{ оп}}}{U_{2\text{ м}}} = \frac{U_{2\text{ оп}} \cdot k_{T2}}{U_{2\text{ м}}} = \frac{U_{2\text{ оп}}}{U_{2\text{ м}}} \cdot \frac{U_{T2\text{ ном}}^{\text{ВН}}}{U_{T2\text{ ном}}^{\text{НН}}} \cdot \frac{kB_{\text{ оп}}}{B_{\text{ м}}}, \quad (3.6)$$

де k_{T1}, k_{T2} – коефіцієнти трансформації трансформаторів Т1 і Т2; $U_{1\text{ оп}}, U_{2\text{ оп}}$ – напруги у вузлах U_1 й U_2 згідно з табл. ПЗ.1; $U_{T1\text{ ном}}^{\text{ВН}}, U_{T2\text{ ном}}^{\text{ВН}}, U_{T1\text{ ном}}^{\text{НН}}, U_{T2\text{ ном}}^{\text{НН}}$ – номінальні напруги трансформаторів Т1, Т2 на сторонах ВН і НН.

Значення масштабних коефіцієнтів за струмом і потужністю визначають за формулами

$$m_{I1} = \frac{m_{U1}}{m_Z}, \quad m_{I2} = \frac{m_{U2}}{m_Z}; \quad (3.7)$$

$$m_{S1} = m_{U1} \cdot m_{I1} = \frac{m_{U1}^2}{m_Z}, \quad m_{S2} = m_{U2} \cdot m_{I2} = \frac{m_{U2}^2}{m_Z}. \quad (3.8)$$

Виконання підготовленої частини є допуском до роботи на стенді. **У підготовчу частину входить підготовка бланка табл. ПЗ.2.**

3.5. Порядок виконання роботи

Робота на стенді починається з ознайомлення зі схемою моделі. **Включення живлення допускається тільки з дозволу викладача.**

При виконанні роботи виконати наступне:

3.5.1. Підтримуючи незмінними напруги U_1 і U по кінцях передачі, змінювати за допомогою фазорегулятора кут δ між ними таким чином, щоб експериментальні точки розташовувалися рівномірно в усіх чотирьох квадрантах приладу (тобто проводити вимір через кожні 30° зміни δ). Показання приладів заносити в табл. ПЗ.2.

3.5.2. При записі показань ватметра звернути увагу на знак активної й реактивної потужностей. Напрямок активної потужності можна визначити за співвідношенням потужностей на початку й наприкінці передачі. Якщо показання ватметра на початку передачі більше відповідного показання кінця, то мабуть активна потужність має позитивний знак. Напрямок реактивної потужності можна визначити за зміною напруги на початку й наприкінці передачі. Відзначати вказані особливості протягом дослідження немає потреби.

3.6. Зміст звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- 5) мету роботи, схеми мережі й лабораторної установки;
- 6) розрахунок параметрів схеми заміщення і вибір масштабних коефіцієнтів m_z , m_U , m_I , m_S ;
- 7) результати лабораторних досліджень з вказівкою отриманих результатів у масштабах моделі й оригіналу (табл. ПЗ.2);
- 8) аналіз результатів лабораторних досліджень.

3.7. Методичні вказівки з виконання аналізу результатів лабораторних досліджень

Аналіз результатів містить у собі заповнення розрахункової частини табл. ПЗ.2, побудову кругових діаграм і графіків.

3.7.1. За даними дослідження й масштабних коефіцієнтів обчислити для початку й кінця електропередачі параметри режиму U_{op} , I_{op} , P_{op} , Q_{op} , S_{op} у розмірності оригіналів, у кВ, кА, МВт, Мвар, МВА. Розрахункові дані заносяться до табл. ПЗ.2.

3.7.2. За розрахованими параметрами побудувати на загальному графіку залежності $Q_1 = f_1(P_1)$ й $Q_2 = f_2(P_2)$. Це і є кругові діаграми для початку й кінця електропередачі. При побудові кругових діаграм радіуси окружності підібрати таким чином, щоб вони проходили через можливо більше число досліджених точок.

3.7.3. Використовуючи результати дослідження і кругові діаграми, побудувати залежності параметрів режиму на початку та в кінці електропередачі від кута δ :

$$I_1 = f_1(\delta); \quad P_1 = f_1(\delta); \quad Q_1 = f_1(\delta);$$

$$I_2 = f_2(\delta); \quad P_2 = f_2(\delta); \quad Q_2 = f_2(\delta).$$

Побудову всіх кривих виконати на одному кресленні, провівши криві різними кольорами, або використати умовні позначки.

3.8. Контрольні запитання

1. Схеми заміщення ЛЕП 220 кВ і вище.
2. Характеристика параметрів схеми заміщення ПЛ.
3. Методи аналізу режимів ЛЕП 220 кВ і вище.
4. Рівняння для розрахунку лінії за умовами початку й кінця.
5. Кругові діаграми при $U_1 = \text{const}$, $U_2 = \text{const}$.

РОБОТА № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДАЛЕКОЇ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

4.1. Мета роботи

Мета роботи – ознайомитися на макеті ЛЕП 1150 кВ Екібастуз-Урал з особливостями дальніх ліній електропередачі, їхніми режимами роботи та впливом на режим роботи поперечної індуктивної компенсації.

4.2. Загальні методичні вказівки

У загальному випадку лінії електропередачі в розрахунках повинні розглядатися як лінії з розподіленими параметрами, тобто повинні враховуватися їхні хвильові властивості. Для реальних електропередач промислової частоти при довжині повітряних ліній до 300-400 км і кабельних до 50 км, з достатньої для практики точністю, можна зневажити розподіл параметрів. У розрахунках сталих режимів для цього використовують схему заміщення із зосередженими параметрами: П - подібну або Т - подібну.

Для розрахунків режимів ліній, довжина яких перевищує зазначені межі, тобто далеких ліній електропередачі (ДЛЕП), також можуть бути використані схеми заміщення. ДЛЕП представляють послідовно з'єднаними ділянками короткої (200-250 км) довжини. Кожній ділянці відповідає окрема схема заміщення. Загальна схема заміщення виходить цепною, що ускладнює розрахунок режимів. При розрахунку сталого гармонійного режиму рівняння ДЛЕП можна представити у вигляді чотириполосника, виконаного на основі рівнянь розповсюдження прямої і зворотної хвиль:

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \operatorname{ch}(\gamma_0 L) & \sqrt{3} \cdot \underline{z}_c \cdot \operatorname{sh}(\gamma_0 L) \\ \frac{1}{\sqrt{3} \cdot \underline{z}_c} \cdot \operatorname{sh}(\gamma_0 L) & \operatorname{ch}(\gamma_0 L) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{pmatrix}, \quad (4.1)$$

де $\underline{U}_1, \underline{I}_1, \underline{U}_2, \underline{I}_2$ – комплекси напруг і струмів на початку й наприкінці ДЛЕП; L - довжина лінії; \underline{z}_c – хвильовий опір лінії; γ_0 – коефіцієнт поширення хвилі. Хвильовий опір лінії визначається співвідношенням питомого опору проводів $\underline{z}_0 = r_0 + jx_0$ і питомої поперечної провідності $\underline{y}_0 = g_0 + jb_0$:

$$\underline{z}_c = \sqrt{\frac{\underline{z}_0}{\underline{y}_0}} = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}}. \quad (4.2)$$

Коефіцієнт розповсюдження хвилі дорівнює:

$$\gamma_0 = \sqrt{\underline{z}_0 \cdot \underline{y}_0} = \sqrt{(r_0 + jx_0) \cdot (g_0 + jb_0)}. \quad (4.3)$$

Коефіцієнт розповсюдження хвилі представляють у вигляді комплексної величини:

$$\gamma_0 = \beta_0 + j\alpha_0, \quad (4.4)$$

де α_0 – коефіцієнт зміни фази; β_0 – коефіцієнт (постійна) загасання. Коефіцієнт β_0 характеризує загасання хвилі на одиницю довжини при її поширенні уздовж лінії. Оцінити величину β_0 можна за наближеним виразом:

$$\beta_0 \approx \frac{r_0}{2\sqrt{x_0/b_0}} = \frac{r_0}{2z_c}.$$

$$\text{Для параметрів ДЛЕП } \beta_0 = (3 \div 5) \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{км}}.$$

Коефіцієнт α_0 характеризує поворот вектора напруги (струму) на одиницю довжини при поширенні хвилі уздовж лінії. Оцінити величину α_0 можна по наближеному вираженню

$$\alpha_0 \approx \sqrt{x_0 \cdot b_0} \cdot \left(1 + \frac{r_0^2}{8x_0^2}\right).$$

Для параметрів ДЛЕП $\alpha_0 = (0,06 \div 0,065) \frac{\text{эл. град}}{\text{км}}$. Попутно помітимо, що коефіцієнт α_0 визначає довжину хвилі:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\alpha_0 (\text{рад/км})} = \frac{360^\circ}{\alpha_0 (\text{эл. град/км})} = \frac{360^\circ}{0,06 \div 0,065} \approx 6000 \text{ км}.$$

Для лінії 1150 кВ параметри схеми заміщення на одиницю довжини становлять:

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,0135 \text{ Ом/км} & x_0 &= 0,268 \text{ Ом/км;} \\ g_0 &= 2,07 \cdot 10^{-8} \text{ См/км;} & b_0 &= 4,45 \cdot 10^{-6} \text{ См/км.} \end{aligned}$$

Через малість r_0 і g_0 у порівнянні з x_0 і b_0 , їхнім впливом на режим роботи лінії можна зневажити і розглядати ДЛЕП як лінію без втрат – ідеальну лінію. Для ідеальної лінії у всіх наведених вираженнях приймають $r_0 = g_0 = 0$. У цьому ви-

падку $\gamma_0 = j\alpha_0$, що дає можливість рівняння ДЛЕП (4.1) записати у вигляді тригонометричних виражень. Перехід здійснюється за формулами Ейлера

$$\sin x = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}; \quad \cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2} \quad (4.5)$$

Гіперболічні функції також визначаються через показові:

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}; \quad \operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2} \quad (4.6)$$

Для чисто уявних аргументів ідеальної лінії одержуємо:

$$\operatorname{sh}(j\alpha L) = j\sin(\alpha L); \quad \operatorname{ch}(j\alpha L) = \cos(\alpha L) \quad (4.7)$$

Використання переходу (4.7) дозволяє записати рівняння дальньої лінії без втрат у вигляді:

$$\begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha_0 L) & j\sqrt{3} \cdot \underline{z}_c \cdot \sin(\alpha_0 L) \\ j\frac{1}{\sqrt{3} \cdot \underline{z}_c} \cdot \sin(\alpha_0 L) & \cos(\alpha_0 L) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{pmatrix}, \quad (4.8)$$

$$\text{де } \alpha_0 = \sqrt{x_0 \cdot b_0}; \quad \underline{z}_c = \sqrt{\frac{x_0}{b_0}}.$$

Якщо опір навантаження дорівнює хвильовому опору ($z_2 = z_c$), то відбиті хвилі в лінії відсутні. Спостерігається режим передачі натуральної потужності

$$P_2 = P_{\text{нат}} = \frac{U_2^2}{z_c}. \quad (4.9)$$

$$\text{При цьому } I_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}z_c} \text{ і, як випливає з (4.8),}$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot [\cos(\alpha_0 L) + j\sin(\alpha_0 L)] = \underline{U}_2 \cdot e^{j\alpha_0 L} \quad (4.10)$$

Рівняння (4.10) описує на комплексній площині окружність у функції довжини лінії L . Це означає, що при передачі натуральної потужності ($P_2 = P_{\text{нат}}$) напруга уздовж лінії постійна за величиною і змінюється тільки по фазі (рис. 4.1).

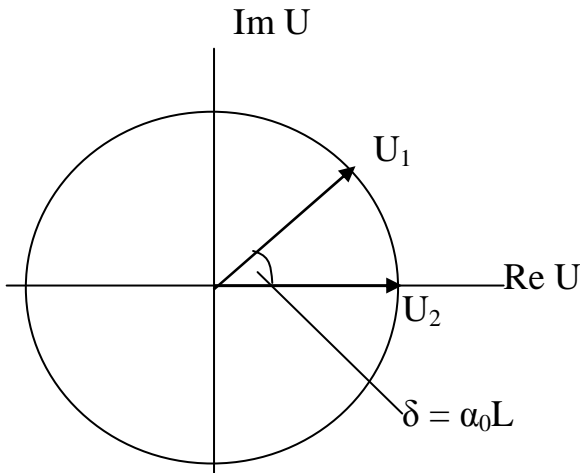


Рис. 4.1 - Зміна напруг при $P_2 = P_{\text{нат}}$

У загальному випадку споживання потужності наприкінці лінії $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2$.

При цьому можна записати, що

$$\underline{I}_2 \cdot z_c = \frac{P_2 - jQ_2}{\underline{U}_2} \cdot z_c = \left(\frac{P_2}{P_{\text{нат}}} - j \frac{Q_2}{P_{\text{нат}}} \right) \cdot \frac{P_{\text{нат}}}{\underline{U}_2} \cdot z_c$$

З урахуванням (4.9) цей вираз можна представити у вигляді:

$$\underline{I}_2 \cdot z_c = (P_2^* - jQ_2^*) \cdot \underline{U}_2, \quad (4.11)$$

$$\text{де } P_2^* = \frac{P_2}{P_{\text{нат}}}; \quad Q_2^* = \frac{Q_2}{P_{\text{нат}}}.$$

Використання (4.11) у рівняннях віддаленої лінії (4.8) дає загальний вираз для напруги на початку лінії:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cdot [\cos(\alpha_0 L) + Q_2^* \sin(\alpha_0 L) + jP_2^* \sin(\alpha_0 L)] \quad (4.12)$$

Перепад напруг на лінії дорівнює:

$$k_u = \frac{U_1}{U_2} = \sqrt{[\cos(\alpha_0 L) + Q_2^* \sin(\alpha_0 L)]^2 + [P_2^* \sin(\alpha_0 L)]^2} \quad (4.13)$$

У випадку передачі натуральної потужності ($P_2 = P_{\text{нат}}, Q_2 = 0$) рівняння (4.12) перетвориться в (4.10), тобто описує окружність у комплексній площині напруги. При $P_2 > P_{\text{нат}}$ окружність деформується в еліпс, витягнутий уздовж уявної осі, при $P_2 < P_{\text{нат}}$ – в еліпс, витягнутий уздовж Re осі (рис. 4.2). Якщо $Q_2 \neq 0$, то еліпс трохи деформується й здобуває нахил щодо осей комплексної площини, що в даній роботі не розглядається.

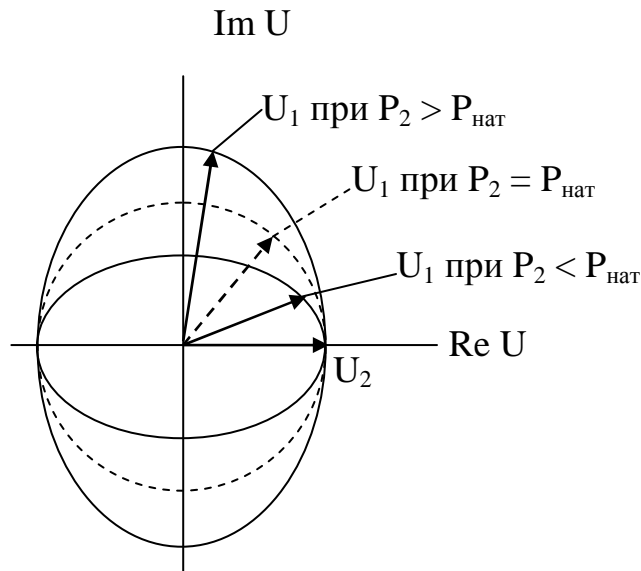


Рис. 4.2 - Зміна напруги при різних співвідношеннях P_2 й $P_{\text{нат}}$

З рівняння (4.13) витікає, що при передачі по лінії активної потужності, що не дорівнює натуральній ($P_2^* \neq 1$), режим напруги на лінії можна підтримувати за рахунок генерації або споживання реактивної потужності Q_2 . Величина граничної активної потужності, яку можна передати по лінії заданої довжини L , впливає з рівності уявних частин рівняння (4.12):

$$U_1 \sin \delta = U_2 \cdot P_2^* \sin(\alpha_0 L), \quad (4.14)$$

де δ – кут між векторами напруг \underline{U}_1 и \underline{U}_2 .
Підставляючи в (4.14)

$$P_2^* = \frac{P_2}{P_{\text{нат}}} = \frac{P_2 \cdot z_c}{U_2^2} \quad \text{і} \quad \sin \delta = 1,$$

одержуємо величину граничної активної потужності

$$P_{2\text{пр}} = \frac{U_1 \cdot U_2}{z_c \cdot \sin(\alpha_0 L)}. \quad (4.15)$$

Для підвищення пропускної здатності, забезпечення регулювання напруги по кінцях лінії, зменшення втрат потужності в лінії встановлюють пристрої, що компенсують. Такі лінії називають компенсованими.

На лінії Екібастуз-Урал використана поперечна індуктивна компенсація, яка реалізована шляхом установки на підстанціях шунтувальних реакторів. У цьому випадку до паралельно-поперечної ємнісної провідності b_0 додається індуктивна провідність b_p . Хвильовий опір при цьому збільшиться і складе:

$$Z_{c(p)} = \sqrt{\frac{x_0}{b_0 - b_{p0}}} = \frac{Z_c}{\sqrt{1 - b_{p0}/b_0}},$$

де b_{p0} – провідність реактора, наведена до одиниці довжини.

Натуральна потужність зменшується

$$P_{\text{нат}(p)} = \frac{U_2^2}{Z_{c(p)}} = P_{\text{нат}} \sqrt{1 - b_{p0}/b_0}.$$

При поперечній індуктивній компенсації зменшується коефіцієнт зміни фази α_0 , виходить, зменшується й електрична довжина лінії $\alpha_0 L$, а хвильова довжина лінії $L_\lambda = 2\pi/(\alpha_0 L)$ – збільшується. Поперечна індуктивна компенсація супроводжується зменшенням межі переданої потужності $P_{\text{пр}(p)}$. Використання поперечної індуктивної компенсації доцільно при потоках активної потужності менших натуральної.

Зміна потоків активної потужності по лінії спричиняє необхідність установки на підстанціях також синхронних компенсаторів (СК). Застосування СК дозволяє вести режим так, щоб натуральна потужність лінії завжди відповідала переданої, що забезпечує найбільш сприятливий розподіл напруг уздовж лінії.

4.3. Опис макета лабораторної роботи

Схема електропередачі Екібастуз-Челябінськ 1150 кВ (рис. 4.3.) представлена на лицьовій панелі макета. Кожна ділянка ЛЕП моделюється однієї П-подібною схемою заміщення. Прийнято наступні масштаби моделювання:

$$m_U = \frac{U_{\text{сист}}}{U_{\text{мод}}} = \frac{1150 \cdot 10^3}{50} = 23 \cdot 10^3; \quad m_S = \frac{S_{\text{сист}}}{S_{\text{мод}}} = 198 \cdot 10^6;$$

$$m_I = \frac{I_{\text{сист}}}{I_{\text{мод}}} = 8,61 \cdot 10^3; \quad m_Z = \frac{Z_{\text{сист}}}{Z_{\text{мод}}} = 2,67.$$

При цих масштабах номінальної напруги в системі $U_{\text{сист ном}} = 1150$ кВ відповідає в моделі напруги $U_{\text{мод ном}} = 50$ В, а натуральна потужність – $S_{\text{мод нат}} = 27,2$ Вт.

Вимірювальні прилади в макеті постійно підключені до вивідних клем, включення яких у задане місце схеми робиться шляхом натискання вимірювальної кнопки, номер якої відповідає точці на схемі.

4.4. Домашня підготовка до виконання лабораторної роботи

4.4.1. Вивчити основні аспекти особливостей роботи ДЛЕП. Володіти термінологією, що використовується для опису дальніх ліній електропередачі, як мінімум в об'ємі термінів, зазначених у загальних методичних вказівках.

4.4.2. Підготувати табл. П4.1, необхідну для занесення результатів вимірів параметрів режиму ДЛЕП.

Виконання вимог з домашньої підготовки є допуском до роботи на лабораторному стенді.

4.5. Порядок виконання роботи

На лабораторному стенді роблять дослідження режимів роботи ДЛЕП, які містять у собі ряд задач.

4.5.1. Моделювання режиму холостого ходу лінії при відсутності поперечної індуктивної компенсації.

4.5.2. Моделювання режиму холостого ходу лінії при найбільш сприятливому сполученні включених шунтувальних реакторів.

4.5.3. Передачі натуральної потужності.

Дослідження розмикання контурів.

4.5.4. Моделювання режиму роботи лінії при заданих викладачем навантаженнях підстанцій і відключених шунтувальних реакторів.

4.5.5. Моделювання режиму роботи лінії при заданих навантаженнях підстанцій і найбільш сприятливому сполученні включених шунтувальних реакторів.

4.6. Зміст звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

1. Мету роботи, схему мережі, що моделюють.
2. Схему заміщення мережі, розрахунок параметрів її елементів.
3. Заповнену таблицю результати вимірів параметрів режиму ДЛЕП П4.1.
4. Розрахунок напруг на підстанціях для режимів за пунктами 4.5.1, 4.5.3.
5. Висновки.

4.7. Методичні вказівки з проведення аналізу результатів лабораторних досліджень

Розрахунок режиму ДЛЕП виконувати для ідеальної лінії без втрат ($g_0 = b_0 = 0$) для значень r_0 і x_0 , зазначених вище. При виконанні розрахунків рекомендується використати рівняння при $\alpha_0 = \sqrt{x_0 \cdot b_0} = 1,1 \cdot 10^{-3}$ 1/км. Розрахунок слід робити для кожної ділянки, починаючи з кінця електропередачі. За вихідну напругу прийняти вимір напруги на ПС - Челябінськ і розрахувати в Кустанаї, як напругу на початку лінії:

$$U_1 = k_u \cdot U_2.$$

Для наступної ділянки за вихідне U_2 треба прийняти напругу в Кустанаї, тоді U_1 – напруга в Кокчетаві. І так далі.

Розрахунок можна робити й іншими методами, наприклад, за формулою (4.8) або за схемою заміщення або інших методів на вибір студента.

4.8. Контрольні питання

1. Які електропередачі називають дальніми лініями?
2. В яких випадках можна моделювати лінію електропередачі схемою заміщення із зосередженими параметрами?
3. Пояснити поняття:
 - хвильовий опір лінії;
 - коефіцієнт поширення хвилі;
 - натуральна потужність;

- ідеальна лінія.
4. Як залежить розподіл напруги по лінії від активної потужності?
 5. Як залежить розподіл напруги по лінії від реактивної потужності?
 6. Що таке компенсована лінія?
 7. Чому дорівнює межа переданої по лінії активної потужності?
 8. Як залежить межа активної потужності від хвильової довжини?

РОБОТА № 5. ПРОГРАМА РОЗРАХУНКІВ СТАЛИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ РРС-9

5.1. Мета роботи

Метою роботи є ознайомлення з ітераційними методами розрахунку сталих режимів мережі на прикладі застосування методу Зейделя в навчальній програмі РРС-9, що розроблена на кафедрі електропостачання міст ХНАМГ.

5.2. Загальні методичні вказівки

Математичну модель для розрахунку сталих режимів електричної мережі, складену за методом вузлових напруг, можна представити матричним рівнянням:

$$\bar{Y}_1 \cdot \bar{U} = \bar{I} + \bar{Y}_B \cdot U_B, \quad (5.1)$$

$$\text{де } \bar{Y}_1 = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{pmatrix} \text{ – матриця взаємних провідностей; } \bar{U} = \begin{pmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \\ \dots \\ \underline{U}_n \end{pmatrix} \text{ –}$$

матриця вузлових напруг; $\bar{\mathbf{I}} = \begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \dots \\ \underline{I}_n \end{pmatrix}$ – матриця вузлових струмів; \mathbf{U}_B – напруга

в базисному вузлі; $\bar{\mathbf{Y}}_B = \begin{pmatrix} y_{1B} \\ y_{2B} \\ \dots \\ y_{nB} \end{pmatrix}$ – матриця базисних провідностей.

Рішення рівняння (5.1) для окремо взятого i -го вузла можна записати у вигляді:

$$\underline{U}_i = \frac{\underline{I}_i + \sum_{j=1}^N y_{i,j} \cdot \underline{U}_j}{y_{i,i}}, \quad (5.2)$$

де $y_{i,j}$, $y_{i,i}$ – взаємні й власні провідності i -го вузла.

При завданні навантаження у вузлах потужностями $P_i + jQ_i$ рівняння (5.1) і (5.2) є нелінійними через те, що струми у вузлах \underline{I}_i , що є аргументами в цих рівняннях, залежать від напруг U_i , які розраховують як функції:

$$\underline{I}_i = \frac{S_i^*}{U_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{U_i' - jU_i''} = \frac{P_i \cdot U_i' + jQ_i \cdot U_i''}{U_i^2} - j \frac{P_i \cdot U_i'' - jQ_i \cdot U_i'}{U_i^2}. \quad (5.3)$$

5.3. Блок-схема алгоритму розрахунку сталого режиму методом Зейделя

Блок-схема наведена на рис. 5.1.

Вихідні дані наступні:

N - число вузлів без базисного;

M - число ліній;

NB - число базисних вузлів;

$U_B'(n)$, $U_B''(n)$ – Ре і уявня складові напруг у базисних вузлах;

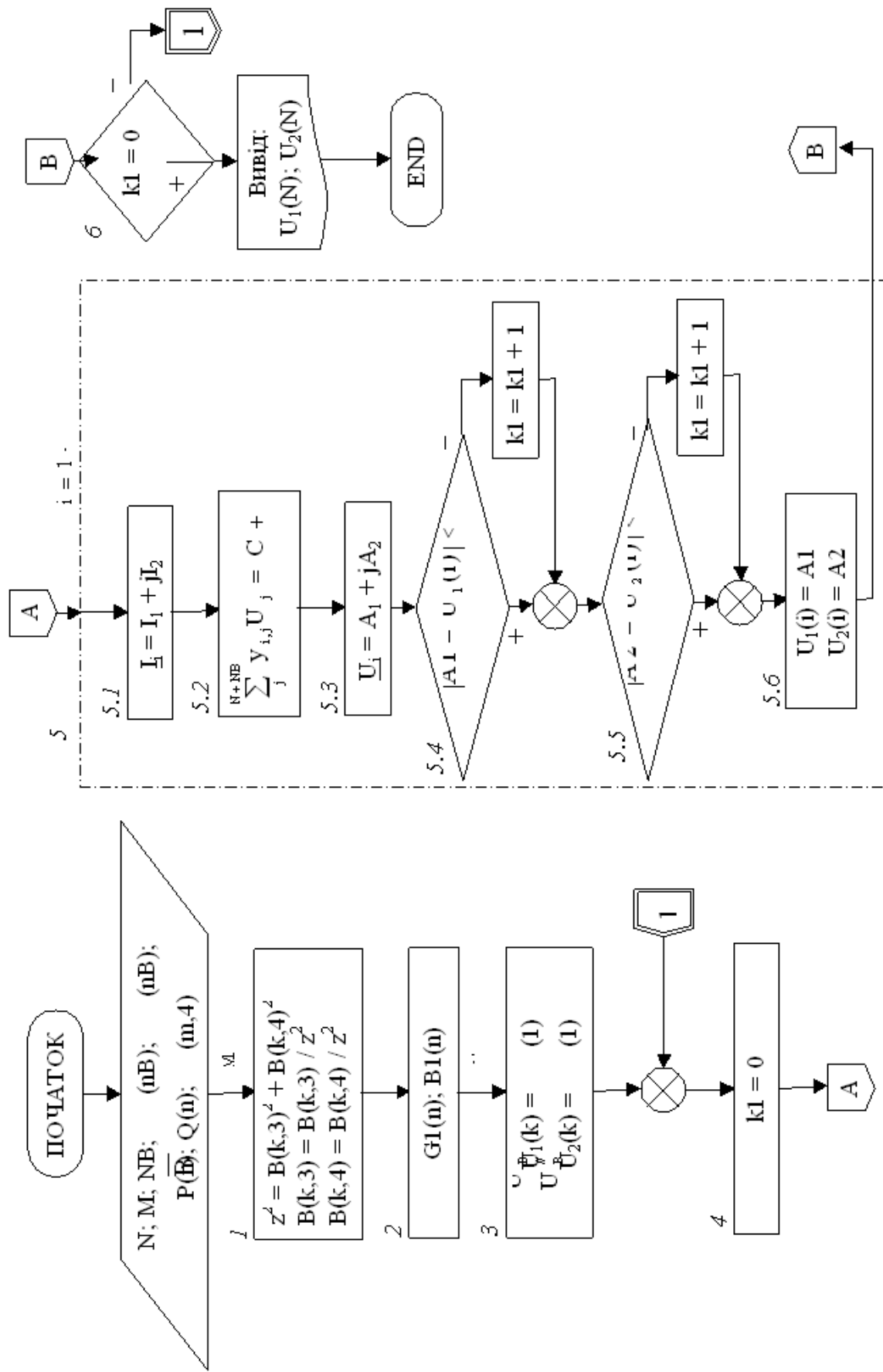


Рис. 5.1 Блок-схема алгоритму розрахунку сталого режиму за методом Зейделя

$P(n)$, $Q(n)$ - активне й реактивне навантаження у вузлах;

$\bar{B}(m, 4)$ – матриця конфігурації мережі.

1. *Блок перерахування опорів ліній у провідності.* Комплексні взаємні провідності визначають шляхом перебору ліній за формулою

$$y = \frac{1}{r + jx} = \frac{r}{r^2 + x^2} - j \frac{x}{r^2 + x^2} = g - jb. \quad (5.4)$$

2. *Блок формування власних провідностей.* Власна провідність i -го вузла розраховують шляхом підсумовування провідностей ліній, які підключені до нього.

$$y_{i,i} = \sum_{j=1}^N y_{i,j}. \quad (5.5)$$

У формулі (5.5) значення взаємних провідностей з вузлами, зв'язок з якими відсутній, прийняті нульовими ($y_{i,j} = 0$).

3. *Блок завдання початкових умов ітераційного процесу.* Як початкові умови у вузлах мережі приймаються напруги, рівні напрузі в базисному вузлі.

4. *Обнуління лічильника вузлів $k1$, у яких ітераційний процес за розрахунками напруги не зійшовся.* $k1$ - критерій збіжності. Якщо при закінченні ітерації залишається $k1 = 0$, розрахунок закінчений.

5. *Блок розрахунку за методом Зейделя.* Розрахунок робиться для кожного вузла в циклі i від 1 до N .

5.1. Розрахунок вузлових струмів I_i за формулою (5.3).

5.2. Обчислення $\sum_{j=1}^N y_{i,j} \cdot \underline{U}_j$.

5.3. Розрахунок напруг у вузлах \underline{U}_i за формулою (5.2).

5.4. Визначення збіжності активної частини напруги U_1 .

5.5. Визначення збіжності реактивної частини напруги U_2 .

5.6. Присвоєння нових значень напрузі.

6. Визначення збіжності.

5.4. Домашня підготовка до виконання лабораторної роботи

5.4.1. Освоїти принцип реалізації методу Зейделя в блок-схемі програми РРС-9.

5.4.2. Скласти таблицю для заповнення матриці конфігурації мережі \bar{B} (m , 4). Схема електричної мережі виконується за завданням викладача. Як приклад розглянемо складання матриці для схеми, наведеної на рис. 5.2. Дві електричні підстанції ПС1, ПС2 одержують живлення від центра живлення ЦП. Приймаємо розташування базисного вузла в ЦП і позначаємо його під №3: у програмі РРС-9 базисні вузли задають останніми номерами.

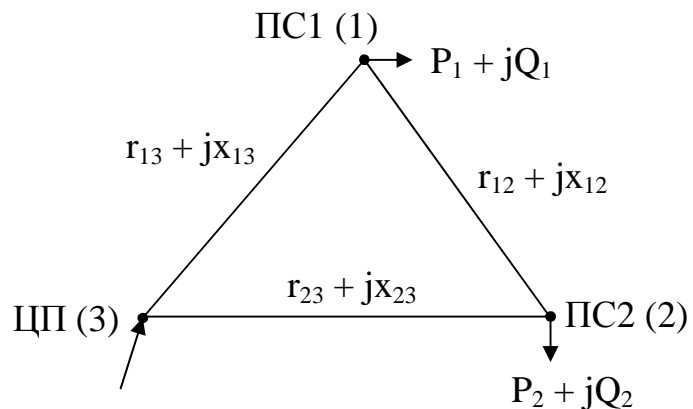


Рис. 5.2. - Схема електричної мережі

Конфігурацію мережі заносимо в табл. 5.1. Початок і кінець ліній вибирають довільно. Якщо напрямки потужностей, отриманих у результаті розрахунку, не будуть збігатися з обраним напрямком галузей, то вони будуть роздруковані негативними.

5.4.3. Скласти таблицю потужності навантажень у вузлах. Для розглянутого приклада див. табл. 5.2.

Виконання вимог до домашньої підготовки є допуском до роботи на комп'ютері.

Таблиця 5.1. - Конфігурація мережі

Номер лінії	Суміжні вузли		Опор лінії	
	Початок лінії	Кінець лінії	r , Ом	x , Ом
1	3	1	r_{13}	x_{13}
2	3	2	r_{23}	x_{23}
3	1	2	r_{12}	x_{12}

Таблиця 5.2. - Потужність навантажень у вузлах

Потужність навантаження у вузлі	Номер вузла	
	1	2
P, МВт	P_1	P_2
Q, мвар	Q_1	Q_2

5.5. Порядок виконання роботи

Робота виконується на комп'ютері. Вихідні дані вводяться за системою діалогу “комп'ютер-оператор”. При уводі інформації слід звернути увагу на наступні особливості програми PPS-9:

- якщо запитуються значення декількох параметрів, то їх варто увести через кому;
- у числових значеннях необхідно використовувати десяткову крапку;
- на питання про кількість вузлів потрібно вказувати кількість без базисного вузла;
- мниму складову напруги в базисних вузлах рекомендується прийняти, рівної нулю;
- нумерація ліній робиться автоматично.

5.6. Зміст звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити:

- 9) мету роботи й схему мережі;
- 10) роздруківку вихідних даних і результатів розрахунку;
- 11) схему заміщення з нанесеними на ній параметрами режимів, розрахунок яких виконаний за завданням викладача.

5.7. Методичні вказівки з проведення аналізу результатів розрахунку режимів

Аналіз результатів розрахунків варто робити шляхом нанесення параметрів розрахункового режиму на схему заміщення (рис. 5.3).

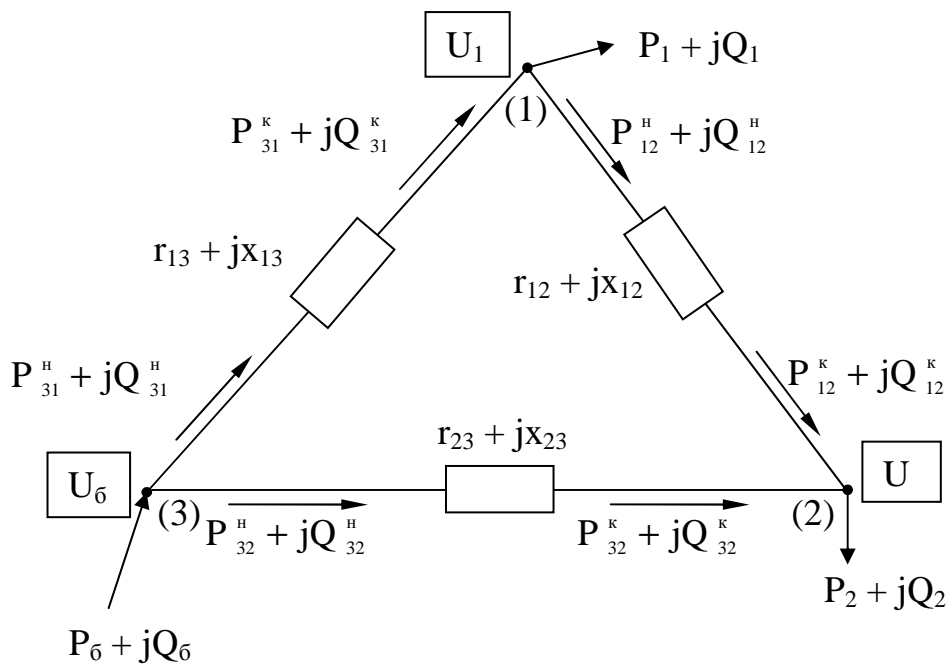


Рис. 5.3. - Розрахунок режиму електричної мережі

5.8. Контрольні запитання

1. Що таке ітерація?
2. Які ітераційні методи розрахунку Ви знаєте?
3. Умова збіжності методу простих ітерацій.
4. За рахунок чого метод Зейделя має кращу збіжність, чим метод простих ітерацій?
5. Що таке взаємна й власна провідності?
6. Матриця конфігурації мережі \bar{B} ($m, 4$).
7. Як визначається збіжність у програмі РРС-9?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети – М.: Энергоатомиздат, 1989, гл. 5.
2. Проектирование питающих сетей / О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, О.Н. Довгалоук, Д.Н. Калюжный и др. – Харьков: ХНАГХ, 2007, гл. 5.
3. Электрические системы. Том II. Электрические сети. Под ред. В.А. Веникова. – М. Высшая школа, 1971.
4. Электрические системы. Электрические расчеты, программирование и оптимизация. Под ред. В.А. Веникова. – М. Высшая школа, 1973.
5. Электрические системы / Н.В. Буслова, В.Н. Винославский, Г.И. Денисенко, В.С. Перхач; под ред. Г.И. Денисенко. – К. Вища школа, 1986.

ДОДАТКИ

Таблиця П1.1. Вихідні дані до лабораторної роботи № 1

Варіант	$L_{л}, \text{км}$	$F_{л}$	Трансформатор	$P_{н}, \text{МВт}$	$\cos \varphi_{н}$	$U_1, \text{кВ}$	$U_2, \text{кВ}$
1	30	95	ТДН-10000/110	12	0,85	117	10м
2	35	120	ТРДН-25000/110	20	0,85	116	10
3	38	120	ТРДН-25000/110	26	0,85	118	10
4	70	120	ТДН-10000/110	10	0,8	114	10
5	25	95	ТРДН-25000/110	20	0,85	115	10
6	28	95	ТДН-16000/110	15	0,85	117	10
7	31	120	ТРДН-25000/110	20	0,85	118	10
8	38	95	ТРДН-25000/110	23	0,87	116	10
9	37	70	ТМДН-6300/110	7	0,85	115	10
10	40	95	ТДН-10000/110	10	0,8	114	10
11	42	150	ТРДН-4ПРО000/110	35	0,85	117	10
12	56	95	ТДН-10000/110	12	0,85	118	10
13	34	120	ТДН-16000/110	20	0,85	119	10
14	37	95	ТДН-10000/110	13	0,85	117	10

Припустиме відхилення напруги на шинях нижчої напруги підстанції задає керівник.

Таблиця П1.2. Досліджені й розрахункові параметри режимів

Дослідження	P ₁		cosφ ₁	U' ₂		P ₂		ΔP		Параметри регулюючого пристрою	Розрахункові дані			
	Модель, Вт	Оригінал, МВт		Модель, В	Оригінал, кв	Модель, Вт	Оригінал, МВт	Модель, Вт	Оригінал, МВт		U' ₂	U ₂ дійсн	Параметри регулюючого пристрою	ΔP, МВт
Без регулювання										—		—		
з РПН										n _{отв} =	—		n _{отв} =	
з БК										C= мкф	—	—	Q _{БК} = Мвар C _{БК} = мкф	
з УПК										C= мкф	—	—	X _{УПК} = Ом C _{УПК} = мкф	

Таблиця П2.1. Параметри ліній електропередачі.

Лінія	Номинальна напруга, кВ	Число ланцюгів або ліній	Марка проводів	Довжина лінії, км	Результуючий опір, Ом	
					R	X
ГРЕС-ПС3	330	2	АС-2х400	43	0,8	6,94
ГРЕС-ПС1	110	2	АС-95	17,8	2,73	3,8
ПС1-ПС2	110	1	АС-120	16	3,98	6,83
ПС2-ПС3	110	1	АС-120	16	3,98	6,83

*Опори наведено до номінальних напруг ліній.

Таблиця П2.2. Параметри автотрансформаторів.

Позначення на схемі й тип трансформатора	Номинальна потужність $S_{НОМ}$, МВА	Номинальна напруга обмоток, кВ		ΔP_k^{B-C} , кВт
		B	C	
T2-АТДТЦН-200000	200	330	115	600
T3-АТДТЦН-125000	125	330	115	370

Таблиця П2.3. Розрахункові навантаження.

Номер варіанта	P_2	P_2	P_3	P_4
1	50	50	100	1500
2	75	75	100	1500
3	50	50	125	1500
4	50	75	125	1500
5	75	75	125	1500
6	75	50	125	1500
7	60	75	125	1500
8	75	50	100	1500
9	50	75	100	1500
10	50	100	75	1500

Таблиця ПЗ.1. Вихідні дані до лабораторної роботи № 3

Варіант	U ₁ , кВ	Трансформатор Т1*		Лінія				Трансформатор Т2**		U ₂ , кВ
		Тип	X _T , Ом	L _л , кМ	Дроти	X ₀ , Ом/кМ	b ₀ · 10 ⁻⁶ , См/кМ	X _T , Ом	Тип	
1	13,8	ТДЦ - 80000	80,5	50	АС - 240	0,331	0,0338	158,7	2 × ТРДН - 40000	11,0
2	13,8	ТДЦ - 125000	51,5	40	2 × АС - 240	0,331	0,0338	100,7	2 × ТРДЦН - 63000	11,0
3	13,8	2 × ТДЦ - 80000	80,5	60	2 × АС - 240	0,331	0,0338	39,7	ТРДЦН - 160000	38,5
4	13,8	ТДЦ - 125000	51,5	80	АС - 300	0,328	0,0341	100,7	2 × ТРДЦН - 63000	11,0
5	13,8	2 × ТДЦ - 80000	80,5	90	2 × АС - 240	0,331	0,0338	39,7	ТРДЦН - 160000	11,0
6	13,8	ТДЦ - 125000	51,5	100	2 × АС - 300	0,328	0,0341	100,7	2 × ТРДЦН - 63000	6,6
7	13,8	2 × ТДЦ - 125000	51,5	120	2 × АС - 300	0,328	0,0341	63,5	2 × ТРДЦН - 100000	38,5
8	13,8	2 × ТДЦ - 80000	80,5	150	2 × АС - 300	0,328	0,0341	39,7	ТРДЦН - 160000	38,5
9	13,8	2 × ТДЦ - 125000	51,5	160	2 × АС - 300	0,328	0,0341	63,5	2 × ТРДЦН - 100000	11,0
10	13,8	ТДЦ - 80000	80,5	56	2 × АС - 240	0,331	0,0338	158,7	2 × ТРДН - 40000	6,6
11	13,8	ТДЦ - 80000	80,5	78	АС - 240	0,331	0,0338	158,7	2 × ТРДН - 40000	6,6
12	13,8	2 × ТДЦ - 80000	80,5	95	АС - 240	0,331	0,0338	39,7	ТРДЦН - 160000	38,5
13	13,8	2 × ТДЦ - 125000	51,5	150	2 × АС - 240	0,331	0,0338	63,5	2 × ТРДЦН - 100000	38,5
14	13,8	2 × ТДЦ - 80000	80,5	110	2 × АС - 240	0,331	0,0338	39,7	ТРДЦН - 160000	38,5

* – для Т1: U_{НОМ}^{ВН} = 242 кВ; ** – для Т2: U_{НОМ}^{ВН} = 230 кВ.

Таблиця ПЗ.2. Дослідженні й розрахункові параметри режимів

№ п/п	δ, ел. град.	Параметри режиму моделі								Параметри режиму електричної мережі									
		U ₁	I ₁	P ₁	Q ₁	U ₂	I ₂	P ₂	Q ₂	U ₁	I ₁	P ₁	Q ₁	S ₁	U ₂	I ₂	P ₂	Q ₂	S ₂
		В	А	Вт	вар	В	А	Вт	вар	кВ	кА	МВт	Мвар	МВА	кВ	кА	МВт	Мвар	МВА
1	0																		
2	30																		
3	60																		
4	90																		
5	120																		
6	150																		
7	180																		
8	210																		
9	240																		
10	270																		
11	300																		
12	330																		

Таблиця П4.1. Результат вимірів параметрів режиму ДЛЕП

№ п/п	Значення навантажень підстанцій, Р*			Потужність реакторів на підстанціях, Q*			Напруги на шинах підстанцій, U _{мод} , В				Струм у лініях, I _{мол} , А		
	ПС Кокчетав	ПС Кустанай	ПС Челябінськ	ПС Кокчетав	ПС Кустанай	ПС Челябінськ	Екібастуз	Кокчетав	Кустанай	Челябінськ	Екібастуз–Кокчетав	Кокчетав–Кустанай	Кустанай–Челябінськ
4.5.1													
4.5.2													
4.5.3													
4.5.4													
4.5.5													

Навчальне видання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Електричні системи та мережі” (для студентів 3 курсу денної і 3, 4 курсів заочної форм навчання, а також слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» зі спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”).

Укладачі: Геннадій Аркадійович Сендерович,
Оксана Миколаївна Довгалюк,
Дмитро Миколайович Калюжний,
Поліна Геннадіївна Щербакова

Відповідальний за випуск О.Г. Гриб

Редактор: М.З. Аляб'єв

Коректор: З.І. Зайцева

План 2008, поз. (додатково)

Підп. до друку 25.04.08
Друк на ризографі.
Тираж 250 пр.

Формат 60 84 1/16
Ум. друк. арк. 2,0
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001