

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до самостійної роботи

з навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ
ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Електроенергетичні системи з відновлюваними джерелами енергії» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. Б. Єгоров, М. Л. Глебова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 35 с.

Укладачі : канд. техн. наук, доц. О. Б. Єгоров,
канд. техн. наук, доц. М. Л. Глебова

Рецензент

Я. Б. Форкун, кандидат технічних наук, доцент кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою альтернативної електроенергетики та електротехніки, протокол № 2 від 02.10.2023

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Контрольні завдання	5
2 Методичні рекомендації до виконання контрольних завдань.....	8
Список рекомендованих джерел.....	24
Додатки.....	25

ВСТУП

Методичні рекомендації призначені для самостійної роботи за навчальною дисципліною «Електроенергетичні системи з відновлюваними джерелами енергії» для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії» усіх форм навчання. Вони відповідають робочим програмам і можуть бути використані для проведення практичних занять.

Перший розділ рекомендацій містить індивідуальні завдання для самостійної роботи студентів. Частина завдань вирішується студентами двічі: спочатку без використання комп'ютерної техніки, а потім – за допомогою персональних комп'ютерів (ПВМ). Отримані результати порівнюються.

У другому розділі наведені методичні рекомендації для виконання індивідуальних (контрольних) завдань.

Додаток містить вихідні дані для індивідуальних робіт і деякі довідкові матеріали.

Варіант індивідуального завдання пропонується викладачем або ухвалюється відповідно до номера залікової книжки студента за такою схемою: остання цифра номера відповідає варіанту за таблицями А.1, А.7, А.8, А.9, передостання цифра – варіанту за таблицею А.2, третя праворуч цифра – варіанту за таблицею А.3.

1 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Завдання № 1. Визначити оптимальний варіант схеми електропостачання цехових розподільних пунктів РП1 і РП2 (рис. 1). Категорія споживача 3, кількість робочих змін – 1. Вихідні дані наведені в таблицях А.1 і А.2, довідкові дані – у таблицях А.4 – А.6.

Завдання № 2. Обрати потужність силового трансформатора цехової підстанції, використовуючи результати розв'язку завдання № 1.

Завдання № 3. Обрати й перевірити захисну апаратуру цехової електромережі, використовуючи результати розв'язку завдань № 1 і № 2 та вихідні дані, наведені в таблиці А.3.

Завдання № 4. Для зварювальної ділянки (рис. 2) зі стаціонарними зварювальними машинами обрати потужність силового трансформатора, схему електропостачання з використанням розподільних пунктів, марку й перетин провідників, захисну апаратуру. Вихідні дані наведені в таблиці А.7.

Завдання № 5. За схемою рисунка 3 визначити ступінь завантаження батареї конденсаторів (БК) струмами вищих гармонік і запропонувати заходи щодо обмеження рівня цих гармонік. Вихідні дані наведені в таблиці А.8.

Завдання № 6. За схемою рисунка 4 розрахувати пристрій для симетрування. Вихідні дані наведені в таблиці А.9.

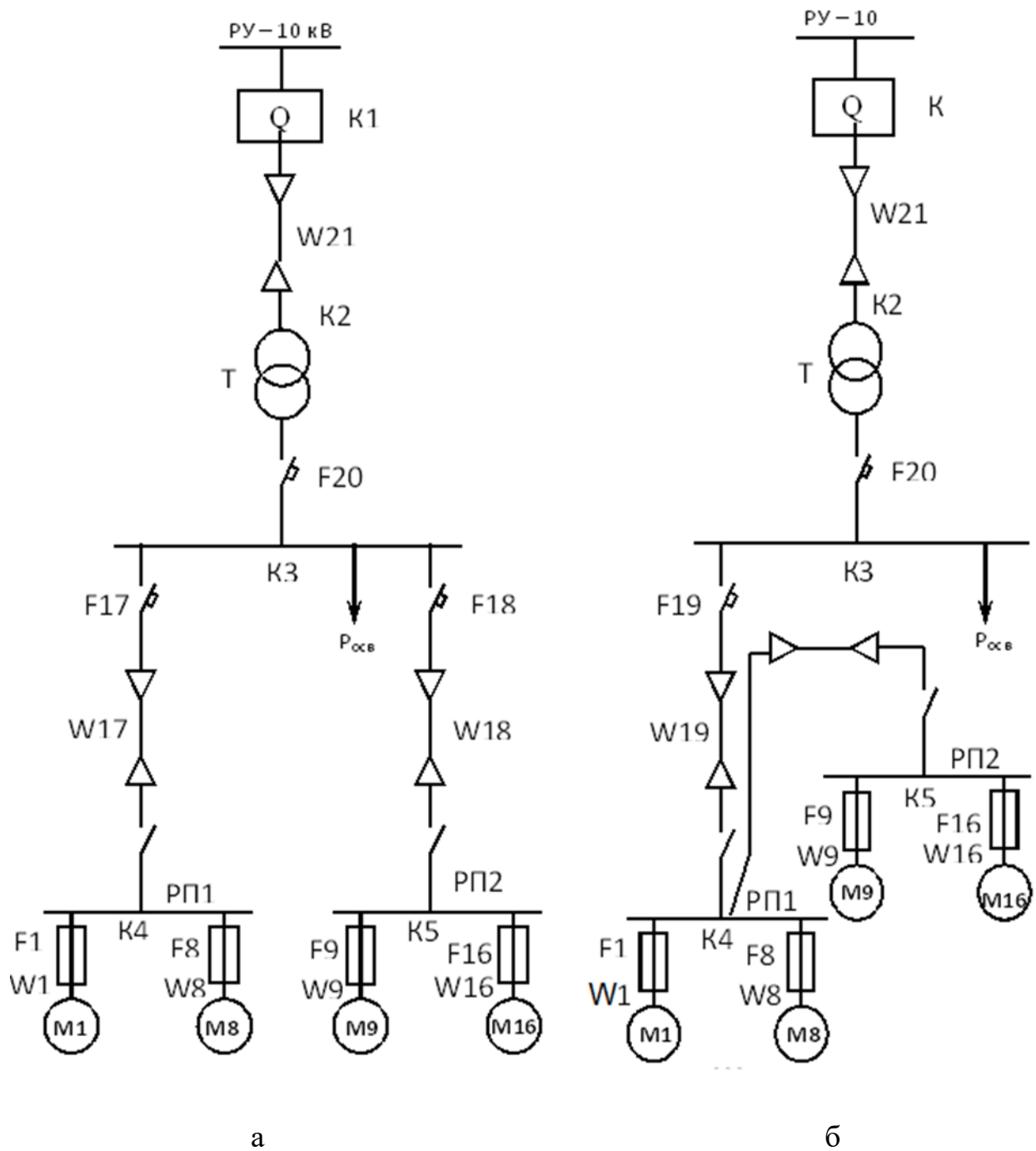


Рисунок 1 – Схема електропостачання цеху:
а – радіальна схема; б – комбінована схема

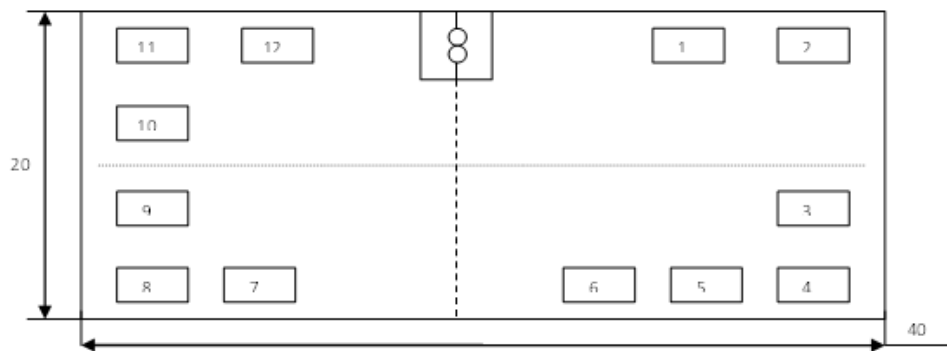


Рисунок 2 – План розташування устаткування

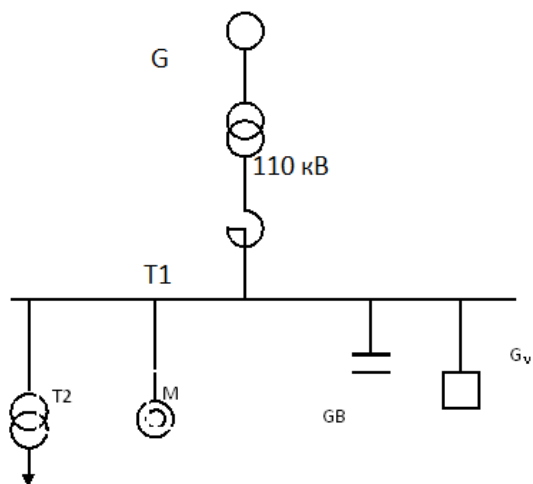


Рисунок 3 – Схема головної знижувальної підстанції

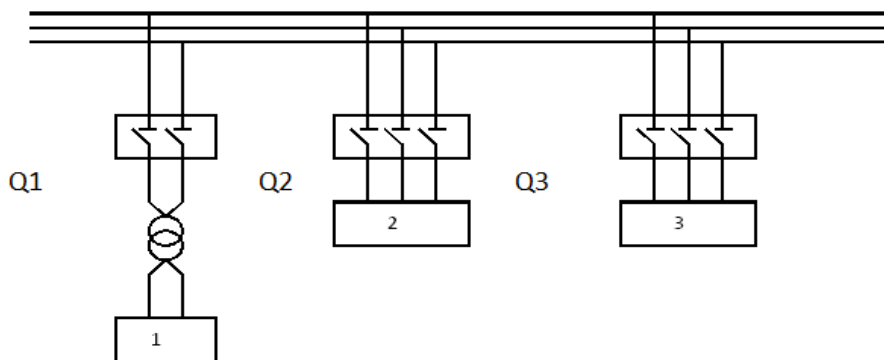


Рисунок 4 – Схема під'єднання однофазної установки

2 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Завдання № 1

Із двох варіантів (рис. 1, а, б) оптимальним можна вважати той, наведені витрати по якому менші [1]:

$$Z = E_n \cdot K + I + B, \text{ грн/рік,}$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності, прийнятий рівним 0,12 1/рік, що відповідає строку окупності капітальних вкладень $1/E_n = 8,3$ року; K – капіталовкладення з урахуванням вартості устаткування, будівельної частини й монтажу, грн; I – щорічні витрати експлуатації при нормальній роботі устаткування, грн/рік; B – збиток від перерв електропостачання, обумовлений можливістю відмови електроустаткування, грн/рік.

Для порівняння варіантів необхідно попередньо вибрати елементи електричної мережі, для чого потрібно розрахувати електричні навантаження.

Загальна методика визначення розрахункових електричних навантажень усіх рівнів електропостачання наведена в [1].

I рівень – це лінії електричної мережі, що з'єднують окремі електроприймачі (ЕП) з розподільним пунктом (РП) або шинопроводом (ШР), до якого вони підімкнені:

$$P_{MI} = K_3 \cdot P_{НОМ}, \text{ кВт,}$$

$$Q_{MI} = P_{mi} \cdot \text{tg } \phi_{НОМ}, \text{ Квар,}$$

де $P_{НОМ}$ – номінальна потужність ЕП, кВт; $\text{tg } \phi_{НОМ}$ – номінальний коефіцієнт реактивної потужності; K_3 – коефіцієнт завантаження ЕП за активною потужністю.

Для електродвигунів (далі – ЕД) тривалого режиму роботи $P_{НОМ} = P_{ПАСП}$, де $P_{ПАСП}$ – номінальна потужність на валу, а для

повторно-короткочасного режиму (ПКР) $P_{\text{НОМ}} = P_{\text{ПАСП}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}$, де ПВ – паспортна тривалість увімкнення двигуна у відносних одиницях (в. о.).

На II рівні електропостачання, що включає лінії розподільної мережі з напругою до 1 000 В, що забезпечують з'єднання РП і ШР із цеховою трансформаторною підстанцією (ЦТП), розрахункове навантаження вибирається за методом впорядкованих діаграм:

$$P_{\text{МП}} = K_{\text{М}} \cdot \sum K_{\text{і}} \cdot P_{\text{НОМі}}, \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{МП}} = K_{\text{МQ}} \cdot \sum K_{\text{і}} \cdot P_{\text{НОМі}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{СМі}}, \text{ Квар},$$

де $K_{\text{і}}$ – коефіцієнт використання окремого ЕП, що входить у групу; $K_{\text{М}}$, $K_{\text{МQ}}$ – коефіцієнт максимуму групи ЕП за активною і реактивною потужністю відповідно; $\text{tg}\varphi_{\text{СМі}}$ – середньозмінний коефіцієнт реактивної потужності окремого ЕП.

На підставі розрахункового навантаження II рівня обирається живильна мережа, наприклад, лінії W17 – W20 і магістральні шинопроводи (ШМ), які в цих завданнях не розглядаються, але можуть бути введені в завдання за вказівкою викладача.

Розрахунки проводяться окремо для кожного вузла навантаження – РП, ШР. При цьому $K_{\text{М}} = f(n_{\text{е}}, K_{\text{іГР}})$, де $n_{\text{е}}$ – ефективне число ЕП у групі; $K_{\text{іГР}}$ – груповий коефіцієнт використання за найбільш завантаженою зміною:

$$n_{\text{е}} = (\sum P_{\text{НОМі}})^2 / \sum P_{\text{НОМі}}^2,$$

$$K_{\text{іГР}} = (\sum K_{\text{і}} \cdot P_{\text{НОМі}}) / \sum P_{\text{НОМі}} = P_{\text{СМ}} / P_{\text{НОМі}},$$

де $P_{\text{СМ}}$ – середньозмінне навантаження за найбільш завантаженою зміною.

Використовуючи значення $n_{\text{е}}$, за довідковими таблицями або графіками [1, 2] знаходять $K_{\text{М}}$.

В окремих випадках $K_{\text{М}} = 1$. Це справедливо для ЕП, для яких $K_{\text{і}} \geq 0,6$ і рівномірний графік навантаження, наприклад, для вентиляторів, димососів, компресорів, печей опору тощо. На цьому етапі ухвалюється постійна часу нагрівання провідників $T_{\text{е}} = 10 \text{ хв} = 1/6 \text{ год}$.

$$K_{MQ} = 1 \text{ при } n_e > 10 \text{ або } K_{MQ} = 1,1 \text{ при } n_e \leq 10 .$$

Якщо розрахункове навантаження визначається у два етапи, що доцільно при дипломному проектуванні, то після вибору трансформаторів ЦТП та компенсуючих пристроїв (КУ) за довідниками знаходять фактичні значення постійної часу нагрівання провідників (T_{FO} , год), перераховують K_M на K_{Mt} , уточнюють значення РМІІ, QМІІ і перетину провідників II рівня електропостачання:

$$K_{Mt} = 1 + (K_M - 1) / \sqrt{6 \times T_{FO}}.$$

Вибір марок проводів і кабелів проводиться за рекомендаціями, викладеними в [3, 5]. Переважно використовуються алюмінієві провідники з паперовою, полімерною або гумовою ізоляцією.

Перетин провідників у загальнопромислових мережах із напругою до 1 кВ обирається за довгостроково припустимим струмом $I_{дд}$, після чого електрична мережа перевіряється за втратою напруги:

$$I_{дд} \geq I_{РАБ \max} = I_{Mj}, \text{ А,}$$

де $I_{РАБ \max}$ – максимальний робочий струм лінії, А; I_{Mj} – робочий струм відповідного рівня, А.

Під час проведення розрахунків потрібно враховувати спосіб прокладання провідників.

Після вибору провідників проводиться їхня перевірка (Р) за припустимою втратою напруги:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \Sigma(\sqrt{3} I_{Mj} \cdot R_j \times \cos\phi_j + \sqrt{3} \cdot I_{Mj} \cdot X_j \cdot \sin\phi_j) = \\ &= \Sigma(P_{Mj} \cdot R_j + Q_{Mj} \cdot X_j) / U_{НОМ}, \text{ В,} \end{aligned}$$

де P_{Mj} , Q_{Mj} – розрахункове навантаження відповідного рівня, Вт, вар; R_j , X_j – активний і реактивний опір відповідних ділянок мережі, Ом; $U_{НОМ}$ – номінальна напруга, В.

Відповідно до [6] відхилення напруги від номінальної на затискачах АД допускається в межах $\pm 5 \%$. При $U_{НОМ} = 380 \text{ В}$ вона становить $\pm 19 \text{ В}$. Таким чином, напруга кожного ЕД за нормального режиму має міститися

в межах від 361 В до 399 В. Враховуючи, що на шинах ЦТП $U = 400$ В, варто визначити, чи перебуває напруга на затискачах ЕД у заданих межах. Якщо втрата напруги виявиться більшою за припустиму, потрібно збільшити перетин провідників.

Крім цього, у завданні № 3 розглянуто додаткові умови перевірки правильності вибору елементів електричної мережі.

Після цього для порівнюваних варіантів можна прийняти таке:

$$K_a - K_6 = \Delta K = K_{F17} + K_{F18} + K_{W17} + K_{W18} - K_{F19} - K_{W19} - K_{W20}.$$

У цьому разі можна вважати, що $K_{F17} = K_{F18} = K_{F19}$.

Вартість елементів СЕП ухвалюється за діючими каталогами, цініниками або даними таблиці П.6.

Будемо вважати, що експлуатаційні витрати за варіантами рівні, тоді

$$I_a - I_6 = \Delta I = 3 \cdot (\Delta P_a - \Delta P_6), \text{ грн/рік},$$

де ΔP – максимальні втрати активної потужності, кВт; 3 – вартість максимальних активних втрат, грн/(кВт·год).

Використаємо дані проведених розрахунків:

$$\Delta I = C_o \cdot 3 \cdot (I_{MW17}^2 \cdot RW_{17} + I_{MW18}^2 \cdot RW_{18} - I_{MW19}^2 \cdot RW_{19} - I_{MW20}^2 \cdot RW_{20}),$$

де I_{MW} – розрахунковий струм II рівня відповідних ліній; RW – активний опір цих ліній.

Збиток від аварійного недовідпускання електроенергії можна визначити, наприклад, за питомими показниками [1]:

$$Y_a - Y_6 = \Delta Y = Y_o \cdot (\Delta W_a - \Delta W_6), \text{ грн/рік},$$

де Y_o – питомий складник збитку, грн/(кВтгод); ΔW – середньорічна аварійно недовідпущена електроенергія за варіантами, кВт·с/рік:

$$\Delta W = W_{\text{ГОД}} \cdot \lambda_{\Sigma} \cdot T_{V\Sigma}, \text{ кВт год/рік},$$

де $W_{\text{ГОД}}$ – річне споживання електроенергії, кВт год/рік; λ_{Σ} – сумарний параметр потоку відмов (частота відмов), 1/рік; $T_{V\Sigma}$ – сумарний середній час відновлення після відмови, рік.

Величину $W_{\text{ГОД}}$ можна визначити різними способами, наприклад, за виразом

$$W_{\text{ГОД}} = P_{\text{СМ}} \cdot t_{\text{СМ}} \cdot n, \text{ кВт год,}$$

де $P_{\text{СМ}}$ – середньозмінна потужність, кВт; $t_{\text{СМ}}$ – тривалість робочої зміни, год; n – кількість змін у році.

Тоді з достатнім для завдання ступенем точності

$$\Delta Y = Y_0 \cdot [P_{\text{СМ РП1}} \cdot (\lambda F_{17} + \lambda W_{17}) \cdot T_{\text{В}\Sigma 17} + P_{\text{СМ РП2}} \cdot (\lambda F_{18} + \lambda W_{18}) \cdot T_{\text{В}\Sigma 18} - P_{\text{СМ РП1}} \cdot (\lambda F_{19} + \lambda W_{19}) \cdot T_{\text{В}\Sigma 19} - P_{\text{СМ РП2}} \cdot (\lambda F_{19} + \lambda W_{19} + \lambda W_{20}) \cdot T_{\text{В}\Sigma 20}] \cdot t_{\text{СМ}} \cdot n.$$

За умовами контрольного завдання можна прийняти; $t_{\text{СМ}} = 8$ год; $n = 320\text{--}340$; λ_i , $T_{\text{В}i}$ – за [1] або за таблицею А.5, а значення $T_{\text{В}\Sigma j}$ визначається за виразом

$$T_{\text{В}\Sigma j} = (\Sigma (\lambda_i \cdot T_{\text{В}i}) / \lambda_{\Sigma}, \text{ рік}$$

де j – номер приєднання; i – номер елемента в приєднанні при послідовному ввімкненні.

За результатами розрахунків наведених витрат варто вказати оптимальний варіант схеми підімкнення РП1 і РП2.

Завдання № 2

Розв'язання проводиться за результатами, отриманими в завданні № 1.

У цехових мережах 6–10 кВ при навантаженнях 2-ї і 3-ї категорій і одно-, двозмінній роботі рекомендується застосовувати однострансформаторні підстанції [1, 3], що відповідає умовам контрольного завдання.

Потужність цехового трансформатора СТ варто обирати на підставі середнього навантаження за найбільш навантажену зміну (включаючи висвітлення), тобто за SMIII, з урахуванням систематичного перевантаження [1, 4].

Для контрольного завдання достатньо використати співвідношення $ST \geq SM_{III}$, де SM_{III} – електричне навантаження третього рівня, тобто на шинах 0,4 кВ ЦТП.

$$P_{MIII} = \lambda \cdot \sum K_{ii} \cdot P_{НОМi}, \text{ кВт},$$

$$Q_{MIII} = \lambda \cdot \sum P_{CMi} \cdot \text{tg}\varphi_{CMi}, \text{ квар},$$

$$SM_{III} = \sqrt{(P_{MIII})^2 + (Q_{MIII})^2}, \text{ кВа},$$

де λ – довідковий коефіцієнт надмірності технологічного встаткування.

Потужність трансформатора уточнюється з урахуванням необхідності установки пристроїв, що компенсують, яка визначається за формулою

$$Q_{КУ} = ДО \cdot Q_M - Q_E,$$

де $Q_{КУ}$, Q_M , Q_E – відповідно, реактивні потужності пристрою, що компенсує, споживача й передана енергосистемою, квар.; ДО – коефіцієнт, що враховує розбіжність за часом максимумів Q_M і Q_E , визначається за довідниками [1, 2], допускається прийняти його значення для контрольного завдання 0,8–1.

Величина Q_E задається енергосистемою або розраховується так:

$$Q_E = P_M \cdot \text{tg}\varphi_E,$$

де P_M – розрахункове навантаження споживача, кВт; $\text{tg}\varphi_E$ – коефіцієнт реактивної потужності енергосистеми, допускається прийняти його значення для контрольного завдання 0,2–0,4.

Якщо $Q_{КУ} > 0$, то подальші розрахунки проводяться за методикою [1].

Уточнюється потужність трансформатора ЦТП:

$$ST \geq PM_{III} / (\beta \cdot NT),$$

де β – коефіцієнт завантаження трансформатора за активною потужністю, визначається за умовами роботи споживача і може бути прийнятий у межах 0,8–1.

Реактивна потужність, яку можна передати через обраний трансформатор,

$$Q_T = \sqrt{(S_T \cdot \beta \cdot N_T)^2 - P_M^2}.$$

Зазвичай як КУ на промислових підприємствах використовуються батареї конденсаторів (БК), які встановлюються на напругу 6–10 кВ або 0,4 кВ.

Потужність низьковольтних БК (НБК)

$$Q_{\text{НБК}} = Q_{\text{НБК1}} + Q_{\text{НБК2}},$$

$$Q_{\text{НБК1}} = Q_M - Q_T,$$

$$Q_{\text{НБК2}} = Q_M - Q_{\text{НБК1}} - \gamma \times S_T \cdot N_T,$$

де γ – довідковий коефіцієнт [1]. Допускається для контрольного завдання, що $\gamma = 0,5$.

Якщо $Q_{\text{НБК1}} < 0$ або $Q_{\text{НБК2}} < 0$, то їх значення обираються рівними нулю.

При $Q_{\text{НБК}} < Q_{\text{КУ}}$ частина, що залишилася, встановлюється на рівні 6–10 кВ.

Завершується завдання вибором високовольтного кабелю W21 (рис. 1), який проводиться з урахуванням передбачуваного типу комутаційного апарата Q (вакуумний, елегазовий, масляний вимикач або вимикач навантаження із запобіжником). У першому випадку кабель W21 обирається відповідно до трьох умов, а в другому – тільки за двома першими:

$$I_{\text{ДД}} \geq I_{\text{РАБ max}} (F_{\text{ДД}}),$$

$$F_E \geq I_{\text{РАБ max}} / j_E,$$

$$F_K \geq 3 \cdot I_K^{(3)} \cdot \sqrt{t_{\text{П}}},$$

де $F_{\text{ДД}}$, F_E , F_K – відповідно, припустимий за нагріванням, економічний і термічно стійкий перетин жил кабелю, мм^2 ; j_E – економічна щільність струму, А/мм^2 ; 3 – постійний коефіцієнт, що для алюмінієвих жил дорівнює 10–12, $\text{мм}^2 / (\text{кА} \cdot \sqrt{\text{с}})$; $I_K^{(3)}$ – струм трифазного короткого

замикання (к. з.) за кабельною лінією, кА; t_{Π} – наведений час дії струму $I_K^{(3)}$, с.

Значення j_E та методика розрахунків t_{Π} наведені в довідниках, зокрема [1]. З метою спрощення можна прийняти, що $t_{\Pi} = 0,2-1,2$ с.

За необхідності значення $I_K^{(3)}$ визначається так. Після вибору перетину W_{21} за двома першими умовами розраховується струм к. з. у точці Д02:

$$I_{K2}^{(3)} = U_{\text{НОМ}} / (\sqrt{3} \cdot Z_{K2}) = U_{\text{НОМ}} / (\sqrt{3} \cdot \sqrt{(XC + XW_{21})^2 + R_{W21}^2}),$$

де $U_{\text{НОМ}} = 10$ кВ; Z_{K2} – сумарний повний опір до крапки К2 від джерела, Ом; XW_{21} , RW_{21} – індуктивний і активний опір лінії W21, Ом; XC – опір системи, Ом, до крапки К1: $XC = U_{\text{НОМ}} / (\sqrt{3} \cdot I_{K1}^{(3)})$, де $I_{K1}^{(3)}$ обирається за таблицею А.3.

Отримане значення $I_{K2}^{(3)}$ варто використовувати для розрахунків F_K .

За необхідності варто повторити розрахунки при нових значеннях перетину W21.

Завдання № 3

У завданні рекомендується для захисту окремих ЕП використовувати плавкі запобіжники, а на лініях до РП – автоматичні вимикачі з комбінованим розчеплювачем. Їх вибір розглянутий у [8].

Номінальний струм плавкої вставки запобіжника, що захищає АД, вибирається за двома умовами:

$$I_{\text{ПВ НОМ}} \geq I_{\text{АД НОМ}},$$

$$I_{\text{ПВ НОМ}} \geq K_{\text{П}} \cdot I_{\text{АД НОМ}} / K,$$

де $I_{\text{АД НОМ}}$ – номінальний струм АД; $K_{\text{П}}$ – кратність пускового струму; $K = 1,6-2,5$ – коефіцієнт, що враховує умови пуску АД.

Номинальний струм розчеплювача автоматичного вимикача $I_{P\text{ ном}}$ і струм спрацьовування відсічення (уставка електромагнітного розчеплювача) I_{CO} вибираються за такими умовами:

$$I_{P\text{ ном}} \geq I_{РАБ\text{ max}},$$

$$I_{CO} \geq K_3 \cdot I_{РАБ\text{ max}} \leq I_{K\text{ min}} / K_ч,$$

де $I_{РАБ\text{ max}}$ – максимальний робочий струм приєднання; K_3 – коефіцієнт запасу, прийнятий за паспортними даними вимикача; $I_{K\text{ min}}$ – мінімальний струм к. з. зони, що наприкінці захищається; $K_ч$ – коефіцієнт чутливості.

Зазвичай $I_{K\text{ min}} = IK^{(1)}$. У цьому випадку $K_ч \geq 1,25$ для автоматів з $I_{P\text{ ном}} \geq 100$ А, $K_ч \geq 1,4$ для автоматів з $I_{P\text{ ном}} < 100$ А [8].

Аналогічна перевірка проводиться і для запобіжників. Якщо захист здійснюється від струмів к. з. і перевантаження, то $K_ч \geq 3$ і, крім того, $I_{дд} \geq I_{пв\text{ ном}}$, де $I_{дд}$ – довгостроково припустимий струм лінії, що захищається. Якщо запобіжник захищає мережу тільки від струмів к. з., то зазначені умови не обов'язкові при $I_{пв\text{ ном}} \leq 3 \times I_{дд}$.

Для перевірки чутливості захисних апаратів потрібно розрахувати струми короткого замикання в цеховій електричній мережі з напругою до 1 000 В. При цьому враховуються активні й індуктивні опори всіх елементів короткозамкнутого ланцюга, включаючи опору контактів, струмових котушок електричних апаратів тощо; опір дуги R_d у місці к. з.; вплив електродвигунів, безпосередньо пов'язаних із точкою короткого замикання [1, 7].

Значення R , X елементів системи електропостачання (СЕП) обирають за Держстандартом 28249-93 [7] або за довідниками [1, 2], а для асинхронних електродвигунів розраховуються:

$$R_M = 0,63 \cdot P_{\text{ном}} \cdot 106 / (K_{\Pi} \cdot I_{\text{ном}})^2,$$

$$X''_M = 5,86 \cdot P_{\text{ном}} \cdot 106 / (K_{\Pi} \cdot I_{\text{ном}})^2,$$

де R_M , X''_M – активний і надперехідний індуктивний опір, мом;
 $P_{НОМ}$ – номінальна потужність двигуна, кВт; $I_{НОМ}$ – номінальний струм
 двигуна, А; K_P – кратність пускового струму, в. о.

Значення R_d визначається за [1, 7] або визначається, як $R_d = 15$ мом
 [8].

Підживлення місця к. з. від АД не враховується, якщо його
 потужність становить менше 20 % від номінальної потужності живильного
 трансформатора або опір, що з'єднує їх і крапку к. з. ZB більше, ніж
 $1,5 \cdot z_t$, де Z_T – опір трансформатора.

Початкове діюче значення струму трифазного к. з. від джерела
 живлення й від місцевих АД визначається за виразами:

$$IKG = U_{CP\ NOМ} / \sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{1\Sigma})^2 + (X_{1\Sigma})^2},$$

$$IKM = 0,9 \times U_{\Phi\ NOМ} / \sqrt{(RM + RB)^2 + (X''_M + XB)^2}, \text{ кА},$$

де $U_{CP\ NOМ}$, $U_{\Phi\ NOМ}$ – середня й фазна номінальна напруга, В; RB , XB – опір
 від крапки к. з. до АД, мом; $R_{1\Sigma}$, $X_{1\Sigma}$ – сумарний активний і індуктивний
 опір прямої послідовності, мом.

$$\text{Повне значення струму трифазного к. з. } IK^{(3)} = IKG^{(3)} + IKM^{(3)}.$$

Початкове діюче значення струму однофазного к. з. розраховується
 без урахуванн АД за формулами

$$IK^{(1)} = \sqrt{3} \cdot U_{CP\ NOМ} / \sqrt{(2 \cdot x_{T1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2},$$

$$IK^{(1)} = \sqrt{3} \cdot U_{CP\ NOМ} / \sqrt{(R_T^{(1)} + 3 \cdot R_{\Phi O} + R_d)^2 + (X_T^{(1)} + 3 \cdot X_{\Phi O})^2},$$

де $R_{0\Sigma}$, $X_{0\Sigma}$ – сумарні опори нульової послідовності.

Завдання № 4

Зварювальне навантаження характеризується такими основними
 показниками:

S_y – установлена потужність зварювальної машини (СМ) при
 номінальній паспортній тривалості ввімкнення, вказується в паспорті
 машини;

K_3 – коефіцієнт завантаження СМ, дорівнює відношенню пікової споживаної потужності до встановленої, приводиться в довідковій літературі;

K_B – коефіцієнт увімкнення, що відбиває тривалість увімкнення СМ у повному циклі зварювання, наводиться в довідковій літературі;

$S_{\Pi} = S_y \cdot K_3$ – пікова потужність СМ, споживана з мережі при зварюванні;

$S_C = S_y \cdot K_3 \cdot K_B$ – середня потужність СМ у циклі зварювання;

$S_E = S_y \cdot K_3 \cdot \sqrt{K_B}$ – ефективна потужність СМ.

Рекомендується [1] наступний порядок розрахунків:

На першому етапі визначається сумарна орієнтовна ефективна потужність СМ:

$$S_{\Sigma E} = \sqrt{(\Sigma S_C)^2 + 3 \cdot \Sigma S_E^2}.$$

На підставі цього обирається кількість і потужність трансформаторів, намічається схема внутрішнього електропостачання.

На другому етапі для кожної СМ визначається

$$S_E^2 = S_{\Pi}^2 \cdot K_B,$$

$$S_C = S_{\Pi} \cdot K_B.$$

Усі машини розподіляються за фазами так, щоб максимально забезпечити рівномірне завантаження всіх фаз. Нерівномірність завантаження не повинна перевищувати 15 %. При цьому у випадку незначної відмінності K_B машин розподіл за фазами можна проводити за S_{Π} , а якщо ні, то за $S_{\Pi}^2 \cdot K_B$.

Для окремої СМ піковий і ефективний струм визначаються за такими виразами:

– для однофазних машин $i_{\Pi} = S_y \cdot K_3 / U_{НОМ}$,

$$i_E = S_y \cdot K_3 \cdot \sqrt{K_B} / U_{НОМ},$$

– для трифазних машин $i_{\Pi} = S_y \cdot K_3 / \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}$,

$$i_E = S_y \cdot K_3 \cdot \sqrt{K_B} / \sqrt{3} \cdot U_{НОМ}.$$

Для групи СМ ефективний струм

$$I_E = \sqrt{IC^2 + DI},$$

де $IC = \Sigma ic$ – середній струм групи, дорівнює арифметичній сумі середніх струмів усіх СМ, підімкнених у фазі; DI – дисперсія навантаження фази, при $K_B \leq 0,15$ дорівнює $\Sigma ic^2 \cdot K_B$.

Пікове навантаження групи СМ

$$I_{II} = IC + \beta \times \sqrt{DI},$$

де β – коефіцієнт, обумовлений графіком рисунка 5.

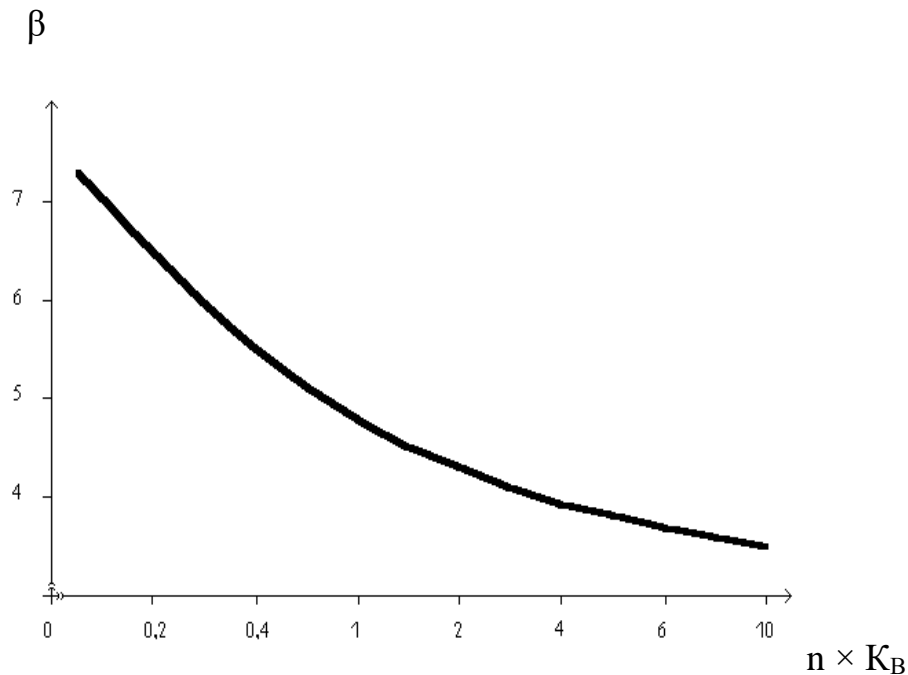


Рисунок 5 – Залежність β від $n \cdot K_B$

Якщо в групу входять СМ із однаковим піковим струмом, то n дорівнює кількості машин у групі; якщо ні, то $n = n_E$, де n_E – ефективне число СМ, обумовлене формулою

$$N_E = (\Sigma i_{II})^2 / \Sigma i_{II}^2.$$

При різних значеннях K_B СМ у групі в розрахунках використовується середнє значення K_{BC} :

$$K_{BC} = (1/n) \cdot \Sigma K_B.$$

Вибір перетину провідників проводиться за ефективним навантаженням та [5, 10], а захисна апаратура для СМ обирається за [8] відповідно до виразів

$$I_{\text{дд}} \geq I_{\text{Е}},$$

$$3 \cdot I_{\text{дд}} \geq I_{\text{пв ном}} \geq 1,2 \cdot i_{\text{п}},$$

де $I_{\text{дд}}$ – довгостроково припустимий струм провідника; $I_{\text{пв ном}}$ – номінальний струм плавкої вставки.

Завдання № 5

Розрахунки вищих гармонійних складників струму й напруги в різних точках системи електропостачання виконуються на основі схем заміщення для кожної гармоніки. Джерела у цих схемах подаються у вигляді джерел струму. Розрахункові формули для їхніх розрахунків наведені в таблиці А.10.

Елементи мережі визначаються опорами, які розраховуються за такими формулами:

– загальний індуктивний опір елемента

$$X_{L\nu} = \nu \cdot X_L,$$

– загальний ємнісний опір елемента

$$X_{C\nu} = X_C / \nu,$$

– опір системи

$$X_C = U_C^2 / S_K,$$

– опір трансформатора

$$X_T = U_K \cdot U_{\text{НОМ}}^2 / S_T,$$

– опір двигуна (ухвалюється в момент пуску)

$$X_{\text{ДВ}} = U_{\text{НОМ}}^2 \cdot \sin \varphi_{\text{ДВП}} / S_{\text{ДВП}},$$

– батарея конденсаторів (схема ввімкнення «зірка»)

$$X_{\text{БК}} = 3 \cdot U_{\text{НОМ}}^2 / Q_{\text{БК}},$$

де ν – номер гармоніки; $U_{\text{НОМ}}$, $U_{\text{С}}$, $U_{\text{К}}$ – номінальна напруга електроустановки, напруга системи, напруга короткого замикання трансформатора відповідно; $S_{\text{К}}$, $S_{\text{Т}}$, $S_{\text{ДВП}}$ – потужність трифазного короткого замикання живильної енергосистеми, навантаженого силового трансформатора й двигуна при пуску відповідно; $Q_{\text{БК}}$ – номінальна потужність батареї конденсаторів; $\sin \varphi_{\text{ДВП}}$ – у момент пуску двигуна.

Ненавантажені трансформатори, печі опору, комутаційні й дугогасильні апарати, силові кабелі в схемі заміщення не враховуються.

Спрощені формули опорів елементів для напруг 6кВ і 10 кВ наведено в таблиці А.11.

Після розрахування режиму за схемою заміщення визначаються струми вищих гармонік I_{ν} в окремих елементах електричної мережі, у тому числі в БК. Ефективне значення струму в БК

$$I_{\text{БКЕ}} = \sqrt{\sum I_{\nu}^2},$$

а кратність перевантаження батареї струмами вищих гармонік

$$K_{\text{ПЕР}} = I_{\text{БКЕ}} / I_{\text{БК1}},$$

де $I_{\text{БК1}} = I_{\text{НБК}}$ – струм основної частоти БК (номінальний).

За наявності захисту БК від перевантаження струмами вищих гармонік припустиме значення $K_{\text{ПЕР}} = 1,3$ [1]. Якщо розрахункове значення $K_{\text{ПЕР}} > 1,3$, то потрібно розглянути заходи щодо обмеження $I_{\text{БКЕ}}$. При цьому можливі такі рішення:

1. Установлення типових частотних фільтрів за таблицям А.12 і А.13. Обрані фільтри потрібно перевірити за припустимим струмом, а також врахувати їхню компенсуючу здатність для коректування потужності БК.

2. Розрахування індивідуальних частотних фільтрів відповідних гармонік за [1, табл. 2.31].

3. Установлення послідовно із БК реактора, опір якого обирається за умовою $X_{\text{Р}} > X_{\text{БК}} / \nu^2$, де ν – найменша з гармонік у місці встановлення БК.

У реальному завданні розрахування гармонік напруги й коефіцієнтів викривлення напруги не розглядаються. За необхідності це завдання вирішується за [1, табл. 2.30].

Завдання № 6

Основні положення методики розрахунків симетрувальних пристроїв (СУ) зводяться до такого.

Несиметричне трифазне навантаження можна розкласти на еквівалентну симетричну трифазну й однофазну навантаження. При цьому однофазне навантаження є пульсуючою потужністю N_H , що підлягає симетруванню:

$$N_H = U_H \cdot I_H = U_H \times e^{j\Psi} \cdot I_H \cdot e^{j\Psi - \varphi} = U_H \cdot I_H \cdot e^{j2\Psi - \varphi} = S_H \cdot e^{j2\Psi - \varphi},$$

де U_H , I_H – напруга й струм однофазного навантаження; Ψ – фазовий кут вектора напруги щодо осі відліку; φ – фазовий кут навантаження.

Наприклад, для навантаження, підімкненого на напругу U_{CA} при $\varphi = 300$.

$$N_{HCA} = U_H \cdot e^{j150} \cdot I_H \times e^{j(150-30)} = S_H \cdot e^{j(300-30)} = S_H \cdot e^{j270}.$$

Цю потужність можна компенсувати, увімкнувши СУ, сумарний вектор пульсуючої потужності якого $N_{СУ}$ дорівнює по величині N_{HCA} і протилежний йому по фазі, тобто

$$N_{СУ} = -S_H \cdot e^{j270} = S_H \cdot e^{j90}.$$

Оскільки елементи СУ повинні бути реактивними, щоб уникнути додаткових втрат у них активної потужності, це завдання можна вирішити такими способами:

1. Увімкнення індуктивності QL на напругу UBC.
2. Увімкнення ємності на напругу UAB і UCA.

3. Комбінований спосіб, при якому на напругу U_{BC} підмикається індуктивність, а на напругу U_{AB} і U_{CA} – ємність. При цьому потужності всіх елементів удвічі менші, ніж за варіантами 1 і 2. У загальному випадку $Q_L + \Sigma Q_C / 2 = N_H$.

Комбінована схема СУ наведена на рисунку 6.

Потужність СУ розраховується за умовою симетрування до залишкового рівня:

$$N_{ост} = N_H + N_{су} \leq 0,02 \cdot SK,$$

де SK – потужність трифазного короткого замикання живильної енергосистеми.

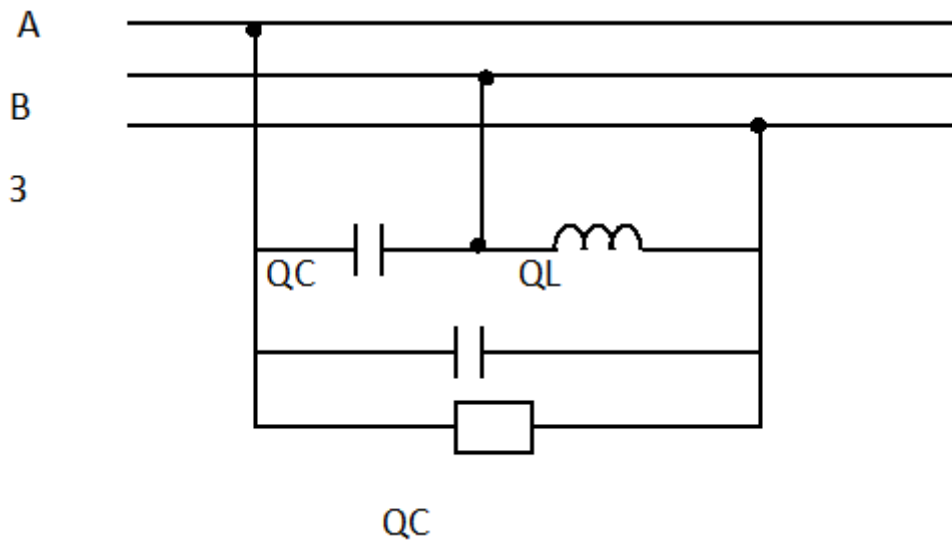


Рисунок 6 – Схема підімкнення однофазного навантаження та симетричного пристрою

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лук'яненко Ю. В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні : навч. посіб. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик. – Вінниця : ВДТУ. 2002. – 116 с.
2. Оптимізація числа й потужності дизель-генераторів автономної дизельної електростанції / Б. В. Лукутин, С. Г. Обухів, Е. А. Блазнів, Н. М. Парників // Промислова енергетика. – 2009. – № 11. – С. 27–33.
3. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні : навч. посіб. / Ю. В. Лук'яненко, Ж. І. Остапчук, В. В. Кулик. – Вінниця : ВДТУ. 2002. – 116 с.
4. Кирик В. В. Електричні мережі та системи / В. В. Кирик, Т. Б. Маслова. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 256 с.
5. Заколюдажний В. В. Проектування та експлуатація систем керування електроенергетичних систем / В. В. Заколюдажний. – Київ : НТУУ КПІ, 2017. – 37 с.

ДОДАТОК А

Довідкові дані до розрахунків контрольних завдань

Таблиця А.1 – Перелік установленого устаткування

Найменування устаткування	Номінальна потужність устаткування за варіантами, кВт									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
РП1										
1. Тельфер ПВ = 0,36	2,5	12,7	6	5,5	6,5	6	2,5	7,7	6	5,5
2. МРС	9	14,5	12,6	14,5	8,7	4,5	4,5	12,5	14,5	12,8
3. МРС	9	14,5	5,6	14,5	8,7	12,5	6	14,2	6,5	4,4
4. МРС	4	8,5	5,6	4,5	8,7	12,5	9	4,2	6,5	14,4
5. МРС	4	6,5	14,5	9,5	6,2	2,5	4,5	6,5	14,5	4,4
6. МРС	7,5	6,5	4,5	9,5	16,2	14,5	6	6,5	14,5	6
7. МРС	3,5	6,5	4,5	6	16,2	4,5	9	12	4,5	12
8. МРС	8,5	10	10	16	13	10	4,5	18,5	12,5	12,5

Таблиця А.2 – Монтажна довжина проводів

Лінії	Довжина, м									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W1	18	20	17	19	16	20	18	15	16	18
W2	17	19	16	18	14	17	16	14	15	10
W3	16	18	15	17	12	14	14	13	14	12
W 4	14	17	14	16	10	11	12	12	13	14

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
W5	12	16	13	15	8	10	10	11	12	16
W6	10	15	12	14	6	9	8	10	11	18
W7	8	12	11	13	4	8	6	9	10	20
W8	13	14	12	14	12	14	13	13	14	13
W9	8	10	6	7	5	20	19	10	6	19
W10	9	11	8	8	7	18	17	12	8	18
W11	10	12	10	9	9	16	15	14	10	17
W12	11	13	12	10	11	14	13	16	12	16
W13	12	14	14	14	13	12	11	18	14	15
W14	13	15	16	15	15	10	9	20	18	14
W15	12	13	14	12	13	14	12	13	14	13

Таблиця А.3 – Значення струму к. з. у точці К1

IK ₁ ⁽³⁾ , кА									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6,5	7,0	7,5	6,0	5,5	5,0	6,25	5,75	6,75	8,0

Таблиця А.4 – Технічні дані асинхронних електродвигунів серії 4А

№ з/п	Марка двигуна	P _{НОМ} , кВт	η _{НОМ} , в.о.	Сos φ _{НОМ}	I _{ПУСК} /I _{НОМ}
1	2	3	4	5	6
1	4А 90 L2 В3	3	0,85	0,88	6,5
2	4А 100 S2 В3	5,5	0,88	0,91	7,5
3	4А 112 M2 В3	7,5	0,88	0,88	7,5
4	4А 132 M2 В3	11	0,88	0,9	7,5

Продовження таблиці А.4

1	2	3	4	5	6
5	4А 160 S2 В3	15	0,88	0,91	7,5
6	4А 180 М6 В3	18,5	0,88	0,87	6,0
7	4А 180 S4 В3	22	0,9	0,9	7,0
8	4А 180 М4 В3	30	0,91	0,9	7,0
9	4А 180 М4 В3	37	0,91	0,9	7,0

Таблиця А.5 – Основні показники надійності

Найменування елемента	Показник надійності	
	λ , 1/рік	$T_B \cdot 10^{-3}$, років
Кабель на 1 км Напруга до 1 000 В: – у каналі; – відкрите	0,025	11
	0,08	5
Автоматичний вимикач: – $I_{P\text{НОМ}} < 100$ А; – $I_{P\text{НОМ}} \geq 100$ А	0,015	2
	0,01	2
Шини РП (на одне приєднання)	0,01	0,1

Таблиця А.6 – Довідкові вартісні показники до контрольних завдань

Найменування	Позн.	Чисельне значення			
		Кількість робочих змін	1	2	3
Вартість втрат потужності, грн/(кВт·рік)	З				
		3	52	106	112
Питомий збиток від аварійної перерви, грн/(кВт·год)	У _о	Галузь			У _о
		Верстатобудування			1,5
		Загальне машинобудування			1,2
		Важке машинобудування			5,0
		Прядильна фабрика			1,4
		Завод ЗБВ			1,0
Зразкова вартість 1м кабеля, грн	KOW	Марка	Перетин, мм ²		KOW
		АВВГ	4 × 2,5	0,17	
			4 × 4	0,225	
			4 × 6	0,28	
			4 × 10	0,44	
			4 × 16	0,63	
			4 × 25	1,1	
			4 × 35	1,4	
			4 × 50	1,9	
		АПВГ	4 × 2,5	0,14	
			4 × 4	0,21	
			4 × 10	0,36	
			4 × 16	0,57	
		Зразкова вартість автоматичних вимикачів серії ВА50, грн	KF	I _{р ном} , А	6,3–25
KF, грн	160			880	910
I _{р ном} , А	200–250			320–400	
KF, грн	1 200			3 600	

Таблиця А.7 – Перелік устаткування зварювальної ділянки (рис. 2)

№ з/п	Тип машини	Номер фаз	К _з	К _в	Потужність S _y за варіантами, КВА										
					0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	SPM-109	3	1	0,01	900	900	900	900	900	900	–	–	–	–	–
	SPM – 21	1	1	0,01	–	–	–	–	–	–	500	500	500	500	500
2	МТП-200	1	0,7	0,03	200	–	200	–	200	–	200	–	200	–	–
	МТП-200	1	0,7	0,03	–	600	–	600	–	600	–	600	–	600	–
3, 4, 5	МТПГ-75	1	1,1	0,02	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
6, 7	МТП-200	1	0,7	0,03	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
8, 9	МТПГ-75	1	1,1	0,02	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
10	SPM-103	1	1	0,01	–	450	450	–	–	–	450	450	–	–	450
	SPM-500	1	1	0,01	550	–	–	550	550	–	–	550	550	–	–
11	SPM-108	3	1	0,01	–	–	–	–	–	–	900	900	900	900	900
	SPM-103	1	1	0,01	450	450	450	450	450	–	–	–	–	–	–
12	МТП-600	1	0,7	0,03	600	–	600	–	600	–	600	–	600	–	–
	МТП-200	1	0,7	0,03	–	200	–	200	–	200	–	200	–	200	–

Таблиця А.8 – Перелік устаткування головної знижувальної підстанції (рис. 3)

Позн.	Тип, марка	Кількість і потужність за варіантами, МВА, МВт, Мвар									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GV	ДСП (S _p)	2,4	1,6	–	–	3,2	1,8	–	–	–	–
	ТПЧ (S _p)	–	–	1,4	1,2	–	–	0,8	–	–	–
	СВ (S _p)	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,8	0,9
GB	УКЛ-10 (6)	2 × 0,9		3 × 0,45		2 × 1,35		2 × 0,45		3 × 0,9	
M	СТД-1600	1,6	1,6	1,6	2 × 1,6		–	–	–	–	–
	ДС-213	–	–	–	–	–	2 × 0,38		0,38	3 × 0,38	
T2	ТМ-10/0,4	4 × 1,0		2 × 1,0		1,0	4 × 0,4		6 × 0,4		0,63
	ТМЗ-10/0,4	4 × 1,6		4 × 2,5		8 × 1,6		4 × 1,0		4 × 2,5	
L	РБ10-630	–	–	–	–	–	+	+	+	+	+
	РБ10-1600	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
T1	ТДН-110 / 10	16	16	25	25	25	–	–	–	–	10
	ТМН-110 / 6	–	–	–	–	–	6,3	6,3	6,3	6,3	–
G	ЭС (S _к)	400	250	300	400	500	250	200	150	100	200

Примітка. ТПЧ – тиристорний перетворювач частоти; СВ – зварювальний випрямляч; УКЛ – установка конденсаторна; СТД, ДС – синхронні двигуни; ТМ, ТМЗ, ТДН, ТМН – силові трансформатори; РБ – реактор; ЕС – енергосистема.

Таблиця А.9 – Технічні дані однофазного навантаження (рис. 4)

Параметр	Варіант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Потужність S_H , МВА	1	2	3	4	1,5	2,5	3,5	1,75	2,75	3,75
Фазовий кут φ_H , градуси	60	30	60	30	60	60	30	60	30	60
Схема підімкнення	СА	АВ	АВ	ВР	ВР	СА	АВ	АВ	ВР	ВР
Напруга на шинах U , кВ	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10
S_K , МВА	100	120	130	140	150	180	200	210	220	230

Примітка. S_K – потужність трифазного к. з. енергосистеми.

Таблиця А.10 – Визначення гармонік струму

Електроприймачі	Порядок гармонік, ν	Розрахункова формула
1	2	3
Електродугова сталеплавильна пекти потужністю S_P , кВа	5, 7, 11, 13	$(1,25 \times S_P) / (\sqrt{3} \times U \times \nu^2)$, U – напруга на шинах, кВ
Зварювальний випрямляч потужністю S_P , кВа	5, 7, 11, 13	$S_P / (\sqrt{3} \times U \times \nu^2)$
Вентиляторний перетворювач потужністю S_P , кВа	5, 7, 11, 13	$S_P / (\sqrt{3} \times U \times \nu)$

Продовження таблиці А.10

1	2	3
Тиристорний перетворювач частоти з номінальним струмом I, А	5, 7, 11, 13	$I = (I / [1,11 \times ((1))],$ «+» – для (=5,13) «-» – для (=7,11)
Силовий магнітний підсилювач із номінальним струмом I, А	3, 5, 7	$I_3 = 0,1xi$ $I_5 = 0,25xi$ $I_7 = 0,3xi$
Газорозрядні лампи потужністю S_{Σ} , кВа	3	$0,2 \times s_{\Sigma} / \sqrt{3} \text{ ху}$

Примітка. S_P, S_{Σ} – потужність розрахункова.

Таблиця А.11 – Визначення опорів елементів мереж 6, 10 кВ

Електроприймачі	Розрахункова формула	
	6 кВ	10 кВ
1	2	3
Живильна енергосистема з трифазним коротким замиканням S_K , МВА	$36v / S_K$	$100v / S_K$
Двообмотковий трансформатор зв'язку з енергосистемою потужністю S_T , МВА (при $U_K = 10,5 \%$)	$6v / S_T$	$11v / S_T$
Реактор з опором X_P , Ом	$v X_P$	$v X_P$
Трансформатор цехової підстанції номінальної потужністю S_T , МВА	$12v / S_T$	$34v / S_T$
Електродвигун, турбогенератор номінальної потужністю $S_{ДВ}$, МВт, (МВА)	$6v / S_{ДВ}$	$17v / S_{ДВ}$

Продовження таблиці А.11

1	2	3
Лінійне навантаження сумарною встановленою потужністю електродвигунів $S_{ДВ\Sigma}$, МВт, (МВА) і трансформаторів $S_{Т\Sigma}$, МВА	$\frac{12v}{S_{Т\Sigma} + 2 \times S_{ДВ\Sigma}}$	$\frac{34v}{S_{Т\Sigma} + 2 \times S_{ДВ\Sigma}}$
Батарея конденсаторів номінальною потужністю $Q_{НБК}$, Мвар (схема «зірка») і номінальною напругою $U_{НБК}$, кВ	$3 \times U_{НБК}^2 / v Q_{НБК}$	
Те саме, схема трикутника (із приведенням до схеми «зірка»)	$U_{НБК}^2 / v Q_{НБК}$	
Примітка. Опір триобмоткового трансформатора на частотах вищих гармонік пропорційно до опору окремих обмоток на промисловій частоті.		

Таблиця А.12 – Технічні дані ФКУ типу ТКФ для мереж 380/220 В

Параметри		ТКФ – 170	ТКФ – 340	ТКФ – 510
Номінальна потужність, Квар.		170	340	510
Діапазон регулювання потужності, Квар.		20–170	30–140	40–510
Допустиме значення струму, $I_{Доп}$, А	повного	300	600	900
	першої гармоніки	260	520	780
	п'ятої гармоніки	110	220	330
	сьомої гармоніки	80	160	240
	інших гармонік	70	140	210
Швидкодія, Квар. / с		500		

Таблиця А.13 – Технічні дані фільтрів для мереж 10 кВ

Тип	v	Потуж., Квар.	Компенсац. здатність, Квар.	Струм, А			
				номінальний		довгостроково припустимий	
				Повн.	Резо- нансної частоти	Повн.	Резо- нансної частоти
Ф-5-10- 1200 1 600 2 400	5	1 200	1 000	60	30	80	55
		1 600	1 350	80	40	105	75
		2 400	2 000	120	60	155	110
Ф-5-10-1 200 1600 2400	7	1 200	965	60	30	80	55
		1 600	1 290	80	40	105	75
		2 400	1 930	120	60	155	110
Ф-5-10- 800 1 200 2 400	11	800	625	40	20	50	40
		1 600	1 250	80	40	105	75
		2 400	1 890	120	60	155	110
Ф-5-10- 800 1 200 2 400	13	800	625	40	20	50	40
		1 600	1 220	80	40	105	75
		2 400	1 845	120	60	155	110

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до самостійної роботи

з навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ
ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського)
рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії»)*

Укладачі: **ЄГОРОВ** Олексій Борисович,
ГЛЄБОВА Марина Леонідівна

Відповідальний за випуск *Я. Б. Форкун*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2024, поз. 380М

Підп. до друку 12.03.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,0.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.