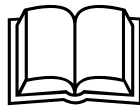


Міністерство освіти і науки України

Таврійський державний агротехнологічний університет

Енергетичний факультет

Кафедра «Електроенергетика і автоматизація»



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

ВІТРОЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

для студентів денної форми навчання
за напрямом підготовки
8.10010101 «Енергетика сільськогосподарського
виробництва», ОКР «Магістр»

Мелітополь – 2016 р.

УДК 631.171:621.311(075.8)

Методичні вказівки склали: д.т.н., доцент Лисенко О.В.,
асистент Адамова С.В.

Методичні вказівки розглянуті на засіданні кафедри «Електроенергетика і автоматизація»

Протокол № 5 від "26" січня 2016 р.

Методичні вказівки розглянуто методичною комісією Енергетичного факультету та рекомендовано до використання у навчальному процесі.
Протокол № 5 від "27" січня 2016 р.

Рецензент к.т.н., доцент кафедри електротехнологій і теплових процесів
Таврійський державний агротехнологічний університет С.О. Квітка

*Лисенко О.В... Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни
«Вітроелектроенергетика»/ І.П.Назаренко, С.В.Адамова. – Мелітополь :
ТДАТУ, 2016. – 44 с.*

З М І С Т

Правила безпеки для студентів, що працюють у лабораторії	4
Загальні вказівки до виконання лабораторних робіт	5
<u>Лабораторна робота 1</u> Регулювання напруги в радіальній мережі за допомогою статичних конденсаторів	6
<u>Лабораторна робота 2</u> Визначення втрат напруги та вибір надбавок трансформаторів в радіальній мережі	14
<u>Лабораторна робота 3</u> Максимальний струмовий захист із незалежною витримкою часу та струмова відсічка	24
<u>Лабораторна робота 4</u> Автоматичне повторне вмикання ліній електропередачі	29
<u>Лабораторна робота 5</u> Автоматичне вмикання резервного живлення	36
<u>Лабораторна робота 6</u> Конструкція та принцип дії вітроенергетичних установок (ВЕУ)	45 36
<u>Лабораторна робота 7</u> Визначення місця розташування площадки для встановлення вітроелектроагрегату.	55 36
<u>Лабораторна робота 8</u> Класифікація вітроприймальних пристроїв за принципом перетворення енергії втру	62 36
Список літератури	71

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ДЛЯ СТУДЕНТІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ У ЛАБОРАТОРІЇ

Відповідальність за виконання правил техніки безпеки покладається на викладача, що проводить заняття в лабораторії. До роботи допускаються викладачі, лаборанти та студенти після проведення інструктажу з техніки безпеки і вивчення інструкцій з відміткою в журналі інструктажу під розпис.

У лабораторії необхідно виконувати наступні правила:

- працювати тільки за спеціально обладнаними стендами;
- не торкатися одночасно опалювальних батарей і приладів, які можуть опинитися під напругою;
- струмоведучі частини та проводи установок ізолювати від можливого дотикання при роботі.

При проведенні лабораторних робіт забороняється:

- виконувати вмикання, відключення, приєднання в електричних схемах під напругою;
- працювати без попередньо складеної схеми й підготовки до неї проводів;
- користуватися несправним інструментом та устаткуванням;
- залишати схеми включеними після закінчення роботи;
- знімати й перевішувати попереджуючі або заборонні плакати і знаки;
- захищувати робоче місце сторонніми предметами;
- вмикати під напругу схему без попередньої перевірки та дозволу викладача (лаборанта);
- залишати без нагляду схему, що знаходиться під напругою;
- ходити по лабораторії й відволікати від роботи товаришів.

Якщо стався нещасний випадок, необхідно:

- зняти напругу зі схеми;
- надати першу допомогу потерпілому;
- повідомити про випадок викладачеві;
- при необхідності викликати швидку допомогу.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно у позаурочний час провести попередню підготовку, для чого необхідно:

- ознайомитися зі змістом лабораторної роботи, усвідомити її мету;
- повторити теоретичний матеріал за літературою, що рекомендується, відповісти на контрольні запитання, зазначені наприкінці роботи;
- продумати план проведення роботи;
- скласти попередній звіт роботи зі схемами та таблицями.

При виконанні роботи й монтажі схеми рекомендується:

- спочатку виконувати головне коло, а потім паралельні включення;
- складання схеми вести від одного затискача джерела живлення й закінчувати на іншому його затискачі;
- перевірку схеми виконувати спочатку в головному контурі кола, а потім в паралельних колах;
- перевірити правильність встановлення повзунків реостатів і положення стрілок вимірювальних приладів на нульовій точці шкали.

Зібрану й перевірену схему пред'явити керівникові лабораторних робіт і тільки після його дозволу включати установку під напругу.

При включенні схеми під напругу треба уважно стежити за показами приладів, при різких ударах стрілок приладів схема повинна бути негайно відключена від джерела живлення.

По закінченні роботи й візуванню в керівника протоколу випробувань схема повинна бути розібрана після дозволу викладача.

Звіт з лабораторної роботи складається індивідуально кожним студентом у позаурочний час відповідно до вимог кафедри й пред'являється керівникові перед початком наступного лабораторного заняття. При ненаданні звіту студент не допускається до чергової роботи й виконує її в дні, призначені кафедрою.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В РАДІАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

1 Мета роботи

Дослідити способи регулювання напруги в радіальній мережі за допомогою повздовжнього та поперечного вмикання конденсаторів.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися із способами регулювання напруги в сільських радіальних мережах за допомогою статичних конденсаторів.

2.2 Ознайомитися із лабораторною установкою.

2.3 Виміряти напругу, струм і потужність на початку і в кінці лінії без регулювання та при компенсації реактивної потужності, розрахувати $\cos \varphi$.

2.4 Побудувати векторні діаграми для поздовжньої та поперечної компенсації для випадків, зазначених викладачем.

3 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

3.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою: «Регулювання напруги в сільських електричних мережах» [1 гл. 5.6; 2. с. 150-152, 279-281; 3 с. 154-156, 294-297; 7 с. 90-96; 8 с. 284-287]

3.2 Ознайомитися зі схемою експериментальної установки (рисунок 6.3) і накреслити її в звіті.

3.3 Підготувати таблицю 1.1.

3.4 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

4 Теоретичні відомості

Регулювання напруги в сільських електричних мережах

Як відомо, сільські електричні розподільні мережі мають велику протяжність і відповідно великі втрати напруги в лініях і трансформаторах.

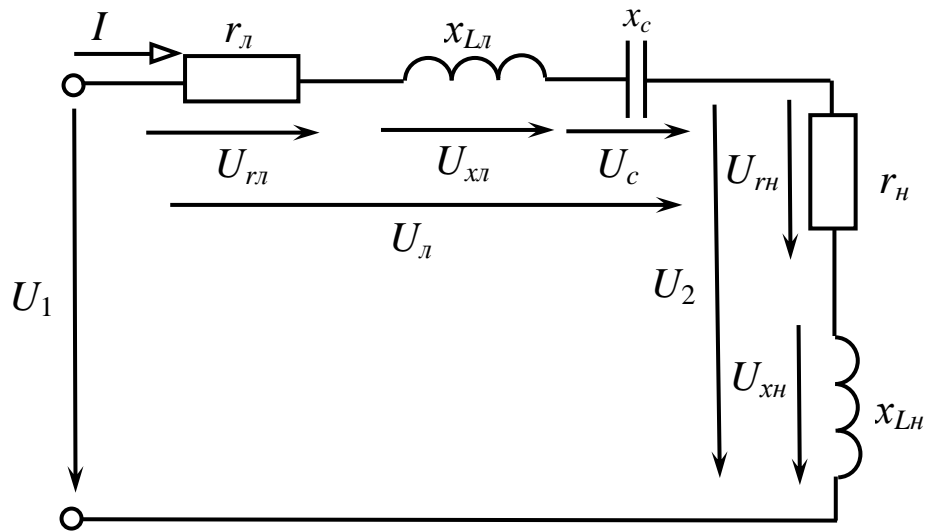
За вимогами ПУЕ, відхилення напруги у споживачів повинно знаходитися в межах $\pm 5\%$ від номінальної напруги. Для покращення якості

електроенергії часто доводиться реконструювати мережі, що вимагає значних капітальних витрат.

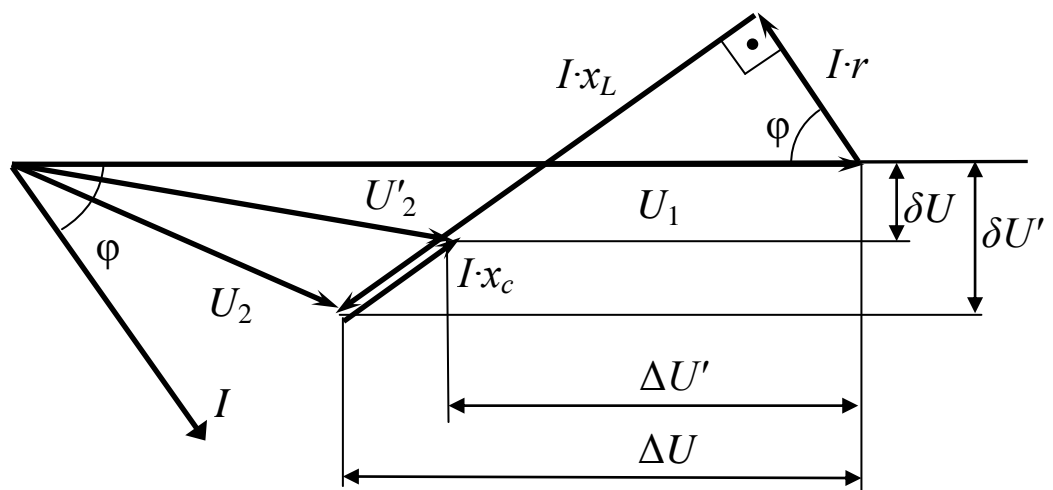
Іншим шляхом є регулювання напруги, що дає можливість вибирати проводи лінії за економічною густиною струму або за економічними інтервалами навантаження.

Одним із способів регулювання напруги є так звана поздовжня ємнісна компенсація (ПЄК), яка полягає в послідовному включенні в лінію електропередачі ємнісного опору у вигляді конденсаторів (рисунок 6.1).

Ємнісний опір частково або повністю компенсує індуктивний опір лінії, внаслідок чого в ній зменшуються втрати напруги, що зрештою приводить до підвищення напруги у споживачів U_2' (рисунок 1.1, б).



а



б

а – схема заміщення мережі; б – векторна діаграма
Рисунок 1.1 – Поздовжня ємнісна компенсація

Регулювання напруги в такий спосіб має ряд переваг перед іншими способами:

- ПЄК має порівняно просту конструкцію;
- компенсуючий ефект установки залежить від струму навантаження (розмір компенсації втрати напруги із зростанням навантаження зростає і, навпаки, знижується при її зменшенні).

Поздовжня і поперечна складова падіння напруги без компенсації потужності відповідно дорівнюють:

$$\Delta U = \sqrt{3} I(r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi); \quad (1.1)$$

$$\delta U = \sqrt{3} I(x \cdot \cos \varphi - r \cdot \sin \varphi), \quad (1.2)$$

де I – повний струм навантаження, А;
 r, x – відповідно активний і індуктивний опори лінії, Ом.

За наявності поздовжньої компенсації ці складові визначаються за виразами:

$$\Delta U = \sqrt{3} I(r \cdot \cos \varphi + (x - x_c) \cdot \sin \varphi), \quad (1.3)$$

$$\delta U = \sqrt{3} I((x - x_c) \cdot \cos \varphi - r \cdot \sin \varphi), \quad (1.4)$$

де x_c – емнісний опір конденсаторів, включених послідовно в лінію, Ом.

У практичних розрахунках, зазвичай, поперечною складовою падіння напруги із-за її незначності нехтують. Тому з приведених вище формул маємо, що при поздовжній компенсації:

$$\Delta U_{рег} = \sqrt{3} I \cdot x_c, \quad (1.5)$$

де I – струм навантаження, А;
 x_c – емнісний опір конденсатора, Ом.

Потужність конденсаторів визначається за виразом:

$$Q_c = 3 I^2 \cdot x_c, \quad (1.6)$$

де I – найбільший робочий струм лінії, А.

У практичних розрахунках потужність конденсаторів визначають виходячи з бажаного рівня напруги в мережі при відомому перерізі проводу за виразом:

$$Q_c = \frac{P}{\cos \varphi} \left[\sin \varphi - \sqrt{\left(\frac{U'}{U''}\right)^2 - (\cos \varphi)^2} \right], \quad (1.7)$$

де P – активна потужність, що проходить через конденсатор, Вт;

U' – напруга на входних (з боку живлення) затискачах конденсатора В;

U'' – напруга на вихідних (у бік споживача) затискачах конденсатора, В;

$$U'' = U' + \delta U_\sigma, \quad (1.8)$$

де δU_σ – бажана надбавка напруги, що досягається включенням конденсаторів, В.

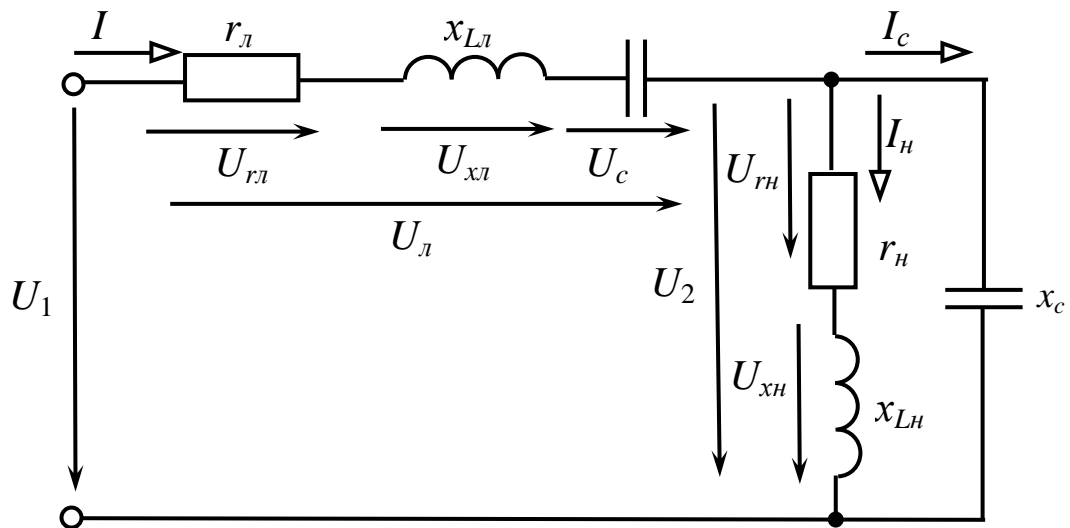
Векторна діаграма напруги без поздовжньої ємнісної компенсації та із нею представлена на рисунку 1.1, б.

Іншим способом зменшення втрат напруги в мережі є компенсація реактивної потужності споживачів або так звана поперечна ємнісна компенсація, при якій статичні конденсатори включаються паралельно навантаженню (рисунок 1.2).

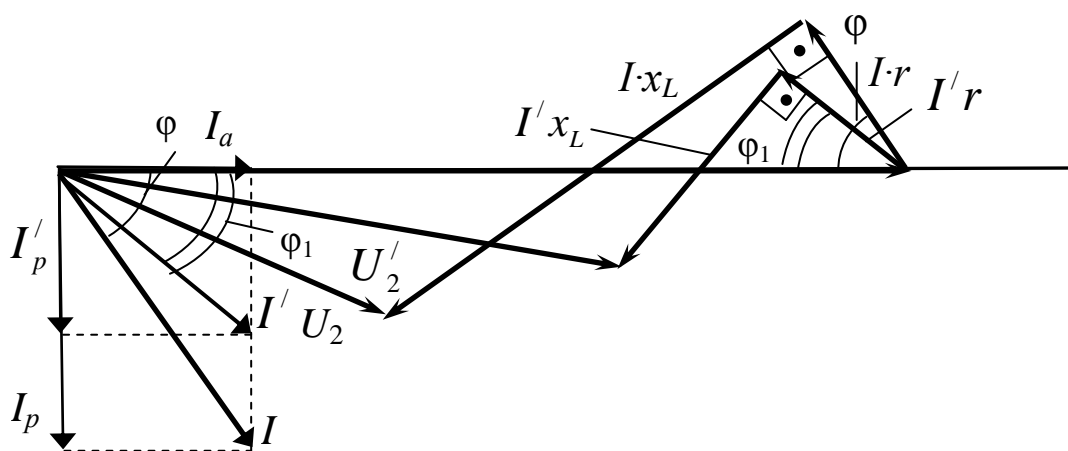
Як відомо, значна частина електроприймачів, що приєднані до електричної мережі, окрім активної потужності споживають також і реактивну.

Основними споживачами реактивної потужності в сільськогосподарському виробництві є асинхронні двигуни. Частина реактивної потужності втрачається в обмотках трансформаторів і в проводах ліній електропередачі. Передача реактивної потужності по мережі для цих споживачів спричиняє додаткові втрати напруги та енергії.

Для розвантаження мережі від реактивної потужності доцільно цю потужність або її частину генерувати на місці споживання (біля споживача). Джерелом реактивної потужності є статичні конденсатори, що встановлюються на місці споживання і підключаються паралельно навантаженню. Конденсатори в цьому випадку є споживачами потужності, що випереджає (ємнісної) або, що те ж саме, джерелами реактивної потужності.



a



б

a – схема заміщення мережі; б – векторна діаграма

Рисунок 1.2 – Поперечна ємнісна компенсація

Втрата напруги при поперечній компенсації визначається:

$$\Delta U = \sqrt{3} [I_a \cdot r + (I_p - I_c) \cdot x]. \quad (1.9)$$

Значить, при паралельному включенні конденсаторів

$$\Delta U_{\text{рег}} = \sqrt{3} I_c \cdot x, \quad (1.10)$$

де I_c – ємнісний струм лінії, А;
 x – індуктивний опір лінії, Ом.

Потужність пристрою компенсації при паралельній компенсації визначається за виразом:

$$Q_c = P \cdot (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi'), \quad (1.11)$$

де P – активна потужність споживачів, кВт;

$P \cdot \operatorname{tg}\varphi$ – реактивна потужність споживачів без компенсації, кВар;

$P \cdot \operatorname{tg}\varphi'$ – реактивна потужність, що передається по лінії при компенсації, кВар.

Ємність конденсаторів визначається за виразом:

$$C_{\text{комп}} = \frac{Q_{\text{комп}}}{2\pi f U^2}, \quad (1.12)$$

де f – частота струму, Гц.

Векторна діаграма напруги з врахуванням поперечної компенсації представлена на рисунку 1.2 б.

5 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

5.1 Зібрати схему поперечної компенсації (підключити конденсатор С2). Переконайтеся в правильності зібраної схеми (рисунок 1.3).

5.2 При замкнутому вимикачі S1 та розімкнутому вимикачі S2 встановити напругу джерела живлення 100 В і підтримувати її постійною під час досліду.

5.3 Заміряти напругу, струм і потужність на початку та в кінці лінії без компенсації реактивної потужності (X1, X2).

5.4 Замкнути вимикач S2. Збільшуючи поступово ємність конденсаторної батареї від 0, одержати повну компенсацію, а потім зробити перекомпенсацію. Виконати необхідні виміри. Результати вимірів (7 точок) записати в таблицю 1.1. Рекомендовані значення ємностей конденсаторів для поперечної компенсації – 5; 7; 10; 15; 20; 30; 40 мкФ.

5.5 Зібрати схему поздовжньої компенсації (підключити конденсатор С1). Переконайтеся в правильності зібраної схеми (рисунок 1.3).

5.6 При замкнутому вимикачі S1 та розімкнутому вимикачі S2 встановити напругу джерела живлення 100 В і підтримувати її постійною під час досліду.

5.7 Розімкнути вимикач S1. Збільшуючи поступово ємність конденсаторної батареї від 0, одержати наприкінці лінії напругу 100 В (повна компенсація). Виконати необхідні виміри. Результати вимірів (4-5 точок) записати в таблицю 1.1. Рекомендовані значення ємностей конденсаторів для поздовжньої компенсації – 10; 20; 25; 30; 40; 50; 60 мкФ.

5.8 Визначити коефіцієнт потужності навантаження за формулою $\cos \varphi = \frac{P_2}{I \cdot U_2}$ та записати в таблицю 1.1.

5.9 Визначити значення падіння напруги на конденсаторі (для поздовжньої) та емнісного струму (для поперечної компенсації) відповідно за формулами: $U_c = I_c \cdot x = \frac{I}{\omega \cdot C \cdot 10^{-6}}$ та $I_c = \omega \cdot C \cdot U_2 \cdot 10^{-6}$. Результати розрахунків записати в таблицю 1.1.

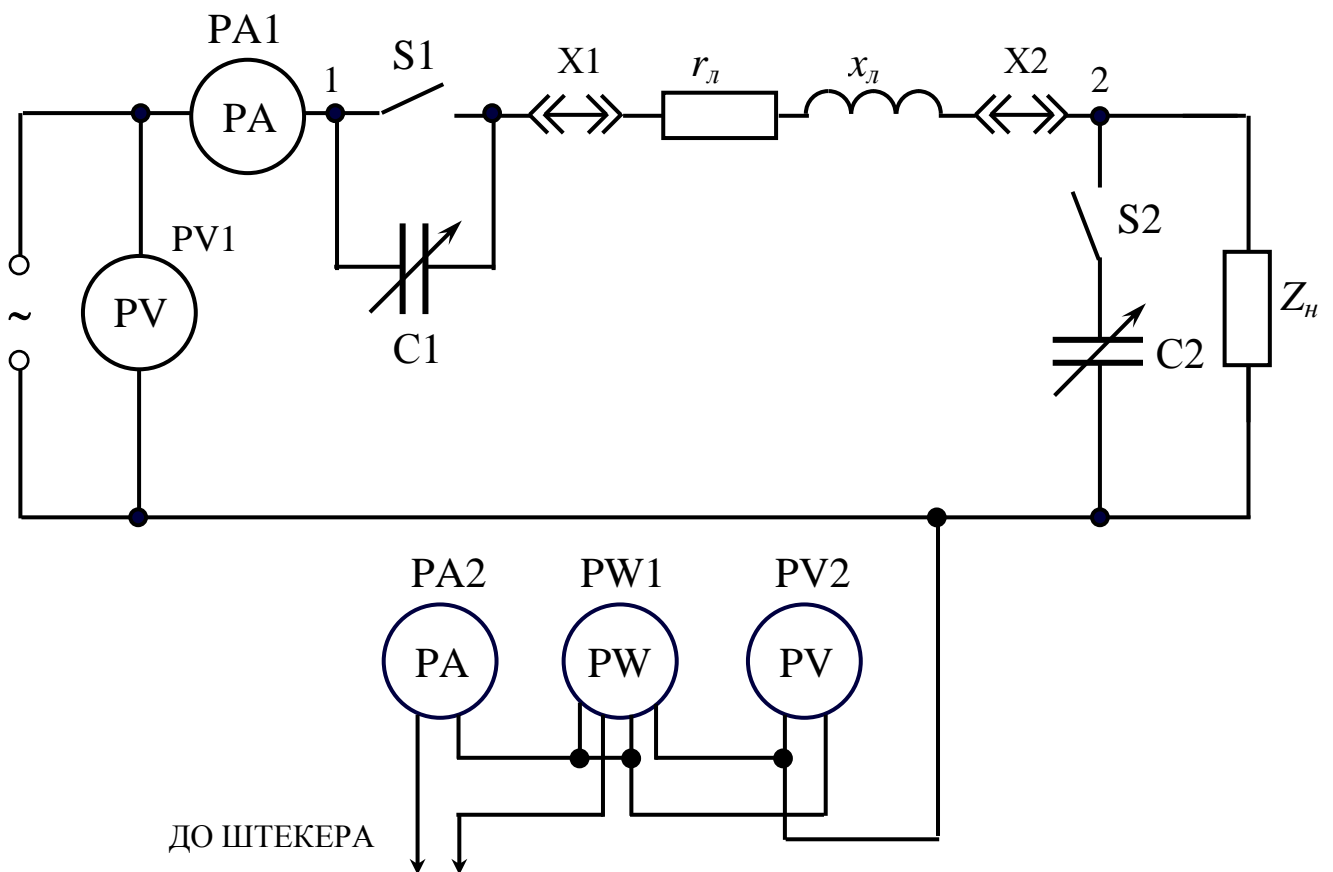


Рисунок 1.3 – Схема лабораторної установки

Таблиця 1.1 – Результати дослідів і розрахунків

Вид компенсації	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P_2, \text{Вт}$	$C, \text{мкФ}$	$\cos \varphi$	U_c або I_c
Без компенсації							
Поперечна компенсація	100						
Поздовжня компенсація	100						

6 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

6.1 Теоретичні відомості про способи регулювання напруги в радіальних мережах (поздовжня та поперечна компенсація).

6.2 Схему експериментальної установки для регулювання напруги.

6.3 Результати дослідження поздовжньої та поперечної компенсації.

6.4 Векторні діаграми для поздовжньої та поперечної компенсації для випадків, зазначених викладачем, прийнявши задані викладачем опори r та x .

6.5 Висновки про доцільність застосування поздовжньої та поперечної ємнісної компенсації для регулювання напруги та $\cos \varphi$.

6.6 Відповіді на контрольні запитання.

7 Контрольні запитання

7.1 Від чого залежить втрата напруги у повітряних ЛЕП?

7.2 Які основні методи регулювання напруги в електричних мережах?

7.3 У чому полягає фізична суть поздовжньої компенсації?

7.4 У чому полягає фізична суть поперечної компенсації?

7.5 Які переваги та недоліки поздовжньої компенсації?

7.6 Які переваги та недоліки поперечної компенсації?

7.7 Які відмінності у схемі вмикання конденсаторів при поздовжній та поперечній компенсації?

7.8 Чому необхідно захищати послідовно увімкнений конденсатор від перенапруги?

7.9 Чи має значення місце установки конденсатора при поздовжній компенсації?

7.10 Яким чином здійснюється підбір конденсаторів для поздовжньої компенсації?

7.11 Як визначити необхідну потужність конденсаторної батареї для здійснення поздовжньої ємнісної компенсації?

7.12 Як визначити необхідну потужність конденсаторної батареї для здійснення поперечної ємнісної компенсації?

7.13 За рахунок чого досягається зменшення втрати напруги при поперечній та поздовжній компенсації?

7.14 Розповісти порядок побудови векторних діаграм для поперечної компенсації.

7.15 Розповісти порядок побудови векторних діаграм для поздовжньої компенсації.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ НАПРУГИ ТА ВИБІР НАДБАВОК ТРАНСФОРМАТОРІВ В РАДІАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

1 Мета роботи

Експериментальним шляхом визначити відхилення та втрати напруги в радіальній мережі та величину надбавки напруги на споживчих трансформаторах сільської електричної мережі шляхом її моделювання.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися із впливом елементів електричної мережі на відхилення напруги та способами її регулювання.

2.2 Ознайомитися з моделлю електричної мережі.

2.3 Визначити надбавки на трансформаторах при холостому ході.

2.4 Вибрати оптимальні відгалуження на трансформаторах.

2.5 Визначити втрати напруги в мережі і в трансформаторах.

2.6 Побудувати епюри розподілу рівнів напруги в мережі.

3 Вказівки з підготовки до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

3.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою: «Визначення допустимої втрати напруги в мережі. Регулювання напруги в сільських електричних мережах» [1 гл. 1.2; 2 с. 146-150; 3 с.150-154; 4. с. 80-92; 5 с. 70-80; 6 с. 162-167; 7 с. 65-70, 84-90; 8 с. 258-262, 280-284; 9 с. 59-73].

3.2 Ознайомитися зі схемами експериментальної установки (рисунок 7.1) і навести їх у звіті.

3.3 Підготувати таблиці 2.1 – 2.5.

3.4 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

4 Теоретичні відомості

На даний час сільські споживачі забезпечуються електроенергією, головним чином, радіальними електричними мережами від районних трансформаторних підстанцій, що живляться від об'єднаної енергосистеми. Лінії електропередачі, як високої так і низької напруги, як правило, мають значну довжину та розгалужені, що веде до значних втрат напруги в мережі.

Для забезпечення необхідного рівня напруги у споживачів ($\delta U_{\text{спож}} = \pm 5\% U_{\text{ном}}$) рекомендується здійснювати ряд спеціальних заходів в електричних мережах. В якості основного заходу застосовують **зустрічне регулювання напруги** на районній трансформаторній підстанції (РТП) у поєднанні з підбором необхідних відгалужень на споживчих підстанціях.

Під зустрічним регулюванням напруги розуміють примусове підвищення напруги в мережі в період максимальних навантажень і його зниження в період мінімальних навантажень.

У випадках коли за допомогою зустрічного регулювання напруги на РТП та підбором необхідних відгалужень на споживчих ТП все ж не вдається отримати необхідні рівні напруги, використовують **групове або місцеве регулювання напруги**.

Для групового регулювання напруги використовують вольтододаткові трансформатори або пристрої поздовжньої ємнісної компенсації.

Місьцеве регулювання здійснюють за допомогою поперечної ємнісної компенсації або зміною коефіцієнту трансформації трансформатора під навантаженням (із РПН), шляхом перемикання виводів відгалужень первинної обмотки трансформатора під навантаженням без розриву кола.

На даний час поширені трансформатори 10/0,4 кВ з ручним перемиканням виводів відгалужень при відключеному навантаженні (з ПБЗ). На обмотці вищої напруги трансформаторів передбачені відгалуження, що забезпечують ступені регулювання: -5; -2,5; 0; +2,5; +5%.

При холостому ході знижувальних трансформаторів номінальному ступеню регулювання (0%) відповідає постійна надбавка напруги на вторинній стороні, яка дорівнює +5% (передбачено конструкцією обмотки).

Сумарно на кожному з п'яти ступенів регулювання будуть відповідно наступні надбавки напруги: **0** (-5 +5); **+2,5** (-2,5 +5); **+5** (0 +5); **+7,5** (+2,5 +5); **+10** (+5 +5)%.

В якості підвищувальних трансформаторів використовують звичайні знижувальні трансформатори, що включаються навпаки. Тому для підвищувального трансформатора номінальному ступеню регулювання (0%) відповідає постійна надбавка -5%, інші ж ступені напруги отримують протилежні знаки.

Сумарно на кожному з п'яти ступенів регулювання будуть відповідно наступні надбавки напруги: **-10** (-5 -5); **-7,5** (-2,5 -5); **-5** (0 -5); **-2,5** (+2,5 -5) і **0** (+5 -5)%.

Необхідне відгалуження, а значить і відповідну надбавку трансформатора вибирають, виходячи з рівня напруги на шинах вищої напруги підстанції в режимі мінімальних та максимальних навантажень.

При проектуванні сільських розподільних мереж, коли дійсні графіки навантаження встановити важко, для вибору відгалужень трансформаторів задаються двома умовними розрахунковими режимами: максимальним – 100% навантаження і мінімальним – 25% навантаження. Для кожного з режимів знаходять рівень напруги на шинах трансформатора і підбирають відповідну надбавку (ступінь регулювання), що задовольняє умові допустимих відхилень напруги у споживачів ($\delta U_{\text{спож}} = \pm 5\% U_{\text{ном}}$).

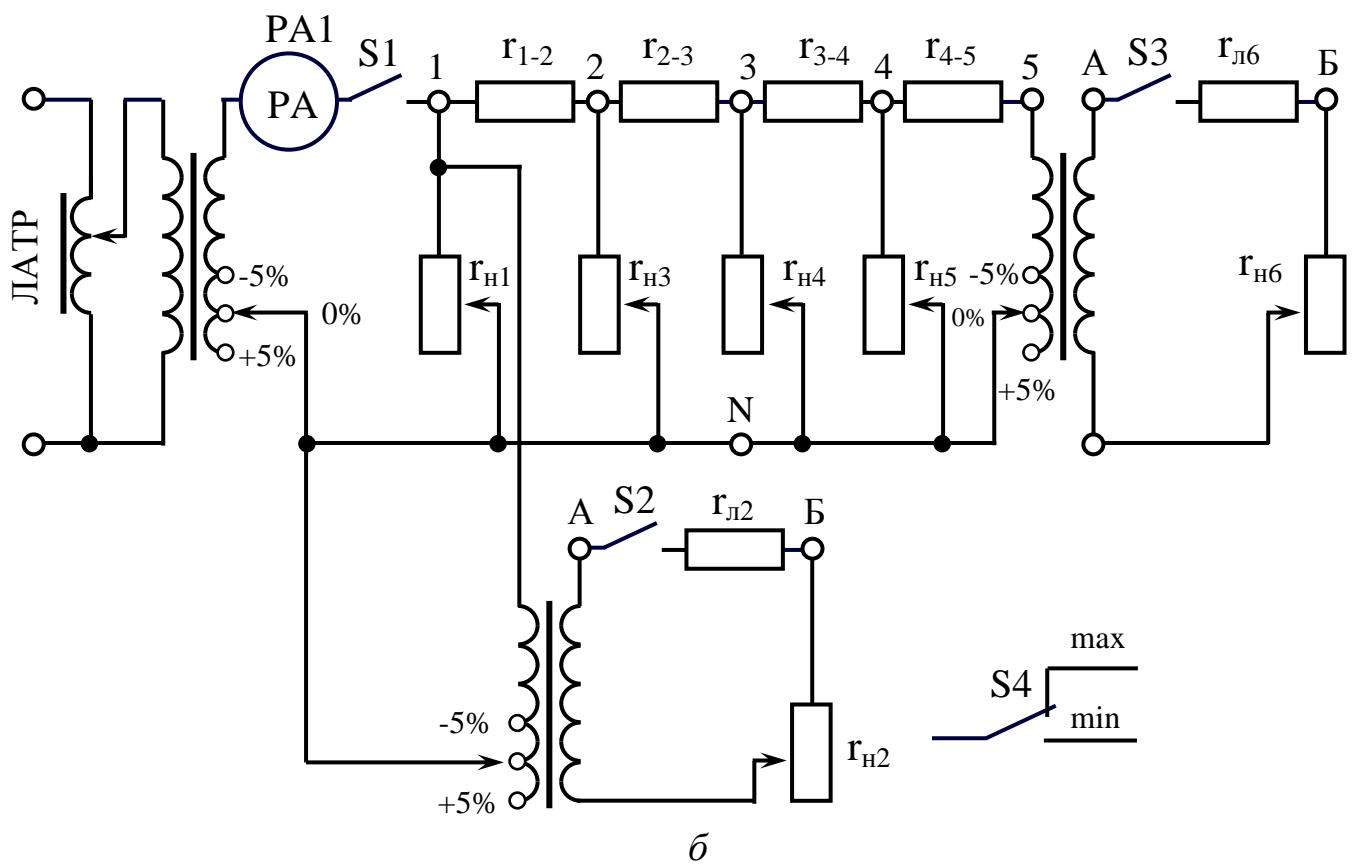
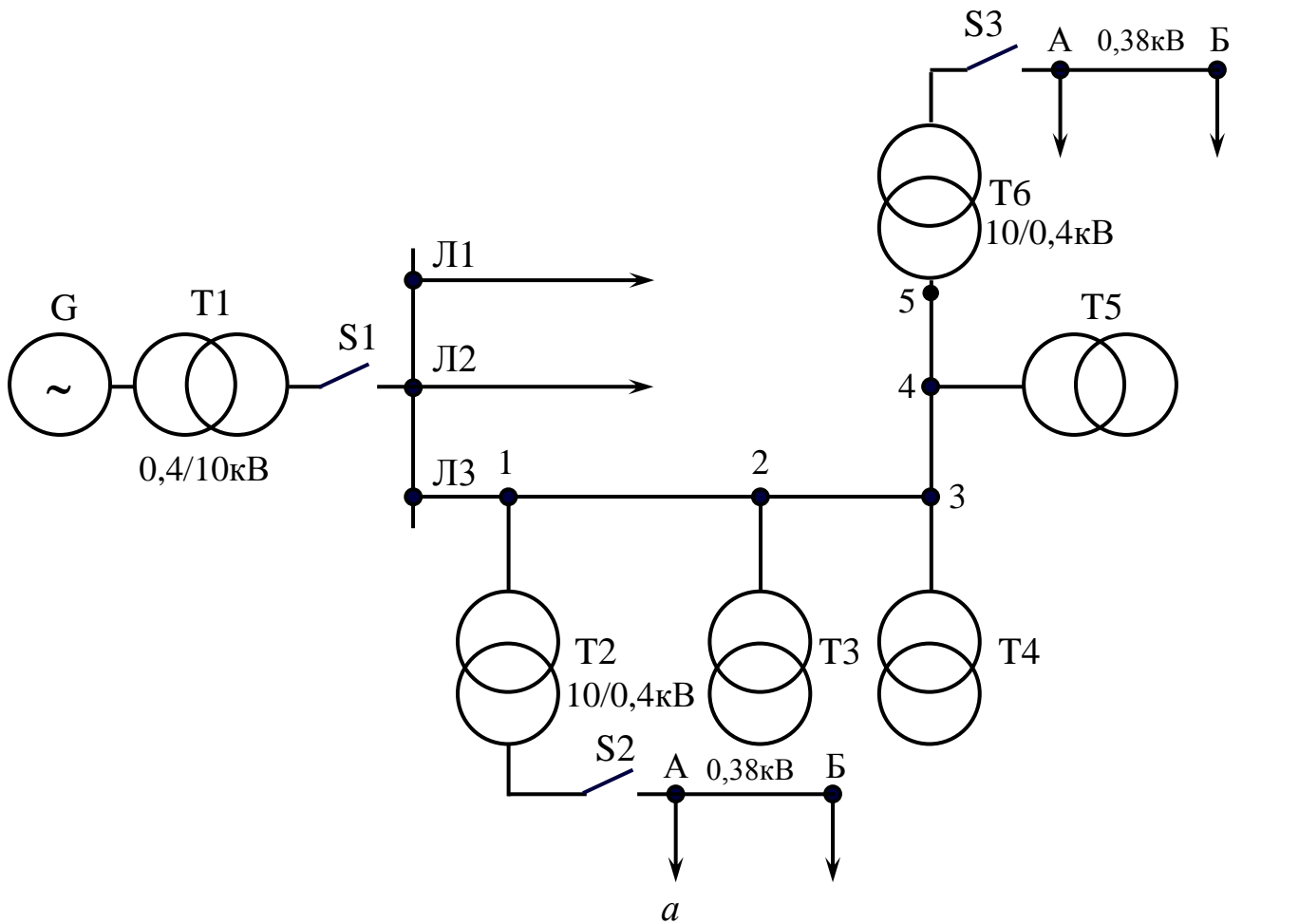
У лабораторній роботі досліджуються режими радіальної мережі, що живиться від сільської електростанції з генератором G, який працює в блоці із підвищувальним трансформатором T1 (рисунок 2.1, а).

Від шин підстанції відходить три лінії напругою 10 кВ (Л1, Л2 та Л3). На схемі детально представлена лінія Л3, на прикладі якої проводяться дослідження. Відгалуження вибирають для двох трансформаторів 10/0,4 кВ T2 (найближчий до шин T1) і T6 (найбільш віддалений). Від споживчих трансформаторів T2 і T6 відходять лінії 0,38 кВ з найближчим від ТП споживачем (А) і віддаленим (Б), який знаходиться в кінці лінії.

Дослідження режимів роботи трифазної мережі проводять на моделі, що змонтована за однофазною схемою заміщення (рисунок 2.1, б).

Модель мережі містить наступні елементи:

- ЛАТР, що імітує джерело живлення (генератор G);
- підвищувальний трансформатор T1 з коефіцієнтом трансформації 105/100 В та з відпайками +5; 0; -5%;
- опір $r_{\text{н1}}$ імітує сумарне навантаження ліній Л1 та Л2;
- трансформатори T2, T6 з коефіцієнтом трансформації 100/105 В і з відпайками +5; 0; -5%, які імітують споживчі знижувальні трансформатори T2 та T6;
- опори r_{1-2} , r_{2-3} , r_{3-4} і r_{4-5} імітують опори відповідних ділянок лінії напругою 10 кВ (Л3);
- змінні опори $r_{\text{н-3}}$, $r_{\text{н-4}}$ та $r_{\text{н-5}}$ імітують навантаження лінії 10 кВ (Л3) в точках 2, 3 і 4 відповідно (трансформатори T3, T4, T5);
- опори $r_{\text{л-2}}$, $r_{\text{л-6}}$ і $r_{\text{н-2}}$, $r_{\text{н-6}}$ імітують, відповідно, опори проводів ліній напругою 0,38 кВ і їх навантаження.



a – схема радіальної мережі; $б$ – однофазна схема заміщення мережі
Рисунок 2.1 – Схема лабораторної установки

На стенді передбачені гнізда для вимірювання значення напруги в різних точках мережі (1, 2, 3, 4, 5, N, А, Б), перемикачі відпайок трансформаторів, вимикачі S1, S2 та S3, для вимірювання напруги при холостому ході трансформаторів.

Режими максимальних і мінімальних навантажень встановлюють перемикачем S4 з положеннями «min» (25 %) або «max» (100 % навантаження). При зміні навантажень слід стежити за дотриманням заданого значення напруги джерела живлення (ЛАТР).

Для вимірювання напруги в точках мережі використовується переносний вольтметр.

5 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

5.1 Підготувати стенд для проведення експерименту.

5.2 Визначити надбавки напруги трансформаторів T1, T2 та T3.

Надбавки трансформаторів визначають при холостому ході, коли втрати напруги в трансформаторах майже відсутні.

– Встановити за допомогою ЛАТРа напругу 60 В (джерело живлення).

– Холостий хід трансформаторів T1, T2 та T6 здійснюють відключенням тумблерів відповідно S1, S2 та S3. Вимірювання виконати для всіх відгалужень трансформаторів.

– Визначити надбавки напруги трансформаторів T2 та T6.

Надбавку трансформатора при прийнятому коефіцієнті трансформатора, близькому до одиниці, визначають за виразом:

$$\delta U_{НБ} = \frac{U_{1T.xx} - U_{2T.xx}}{U_{2T.xx}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де $U_{1T.xx}$ – первинна напруга трансформатора в режимі холостого ходу, В;

$U_{2T.xx}$ – вторинна напруга трансформатора в режимі холостого ходу, В.

Дані вимірів і обчислень надбавок напруги занести в таблицю 2.1.

Визначення надбавок необхідне для обчислення втрати напруги в трансформаторах виходячи з дослідних даних, отриманих на моделі схеми.

5.3 Вибрати оптимальні відгалуження для трансформаторів T2 і T6.

– Встановити перемикач відгалужень трансформатора Т1 в оптимальне положення.

– Виконати виміри напруги в точках А і Б для усіх відгалужень трансформаторів Т2 та Т6 в режимі максимального та мінімального навантаження.

– Визначити відхилення напруги в заданих точках мережі.

Відхилення напруги у споживачів від номінального значення $\delta U_{\text{спож}}$, %, визначають за виразом:

$$\delta U_{\text{спож}} = \frac{U_{\text{спож}} - U_n}{U_n} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де $U_{\text{спож}}$ – напруга у споживача, В;

U_n – номінальна напруга мережі, В.

Дані вимірів і обчислень відхилень напруги звести в таблиці 2.2, 2.3.

За результатами таблиць 2.2 та 2.3 вибрати оптимальні відгалуження для трансформаторів Т2 та Т6.

Оптимальними необхідно вважати відгалуження, при яких відхилення напруги у споживачів (у точках А і Б) будуть якомога ближчими до нормативних значень – $\delta U_{\text{спож}} = \pm 5\% U_{\text{ном}}$.

5.4 Визначити втрати напруги на ділянках мережі та в трансформаторах.

– Встановити перемикачі відгалужень трансформаторів Т1, Т2 та Т3 у положення, що відповідають оптимальним відгалуженням (див. п.5.3).

– Виконати виміри напруги у вказаних точках мережі (таблиця 2.4) в режимі максимального та мінімального навантаження. Заміряні величини напруги в контрольних точках схеми записати в таблицю 2.4.

– Визначити втрати напруги ΔU , %, на ділянках мережі та у трансформаторах.

Втрати напруги на окремих ділянках схеми визначають як різницю напруги, що заміряна по кінцях цієї ділянки:

$$\Delta U_{1-2} = U_1 - U_2; \quad \Delta U_{2-3} = U_2 - U_3 \quad \text{і так далі.} \quad (2.3)$$

Якщо напруга приведена до одного ступеня трансформації, то втрати напруги в трансформаторі при навантаженні визначаються за виразом:

$$\Delta U_T = U_{1T} - U_{2T} + \delta U_{NB}. \quad (2.4)$$

Результати розрахунків втрат напруги ΔU звести в таблицю 2.5.

5.5 Побудувати епюри розподілу рівнів напруги в схемі, що досліджується при обраному оптимальному відгалуженні трансформатора Т6 для режиму максимальних і мінімальних навантажень.

Для побудови епюри розподілу рівнів напруги в мережі по осі абсцис, рівень якої відповідає номінальній напрузі, відкладають вправо ділянки мережі від джерела живлення (G) до Т6. По осі ординат відкладають надбавки і втрати напруги в трансформаторах і на ділянках мережі.

Таблиця 2.1 – Визначення надбавок трансформаторів при х.х.

Трансформатор	Положення перемикача відгалужень	U_{1T} , В	U_{2T} , В	Надбавки, %
Т1	-5	60		
	0	60		
	+5	60		
Т2	-5	60		
	0	60		
	+5	60		
Т3	-5	60		
	0	60		
	+5	60		

Таблиця 2.2 – Вибір оптимальних відгалужень трансформатора Т2

Режим навантаження	Положення перемикача відгалужень		Напруга в точках мережі U , В		Відхилення напруги в точках мережі δU , %	
			Т2		Т2	
	Т1	Т2	А	Б	А	Б
Максимальне		-5				
		0				
		+5				
Мінімальне		-5				
		0				
		+5				

Таблиця 2.3 - Вибір оптимальних відгалужень трансформатора Т6

Режим навантаження	Положення перемикача відгалужень		Напруга в точках мережі U , В		Відхилення напруги в точках мережі δU , %	
			Т6		Т6	
	Т1	Т6	А	Б	А	Б
Максимальне		-5				
		0				
		+5				
Мінімальне		-5				
		0				
		+5				

Таблиця 2.4 – Результати дослідження режиму напруги мережі

Режим навантаження	Напруга джерела живлення, В	Положення перемикача відгалужень			Напруга в точках мережі U , В								
					На високій стороні					На низькій стороні			
		Т1	Т2	Т6	1	2	3	4	5	А	Б	А	Б
Максимальне													
Мінімальне													

Таблиця 2.5 – Результати обробки отриманих даних

Режим навантаження	Надбавки трансформатора, %			Втрата напруги ΔU , В										
				На ділянках високовольтної лінії				У трансформаторах			На ділянках н/в лінії		Сумарна	
	Т1	Т2	Т6	1-2	2-3	3-4	4-5	Т1	Т2	Т6	Л2	Л6	до Н2	до Н6
Максимальне														
Мінімальне														

6 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

- 6.1 Теоретичні відомості про вплив елементів електричної мережі на відхилення напруги та способи її регулювання.
- 6.2 Схему та модель радіальної мережі.
- 6.3 Таблиці вимірів та обчислень.
- 6.4 Епюри розподілу рівнів напруги в схемі, що досліджується.
- 6.5 Висновки про зв'язок втрати напруги із величиною навантаження.
- 6.6 Відповіді на контрольні запитання.

7 Контрольні запитання

- 7.1 З якою метою застосовується регулювання напруги в електричних мережах?
- 7.2 Які способи регулювання напруги застосовуються в сільських електричних мережах?
- 7.3 Що називається відхиленням напруги?
- 7.4 Як визначити відхилення напруги у споживачів?
- 7.5 Чим відрізняється коливання напруги від відхилення напруги?**
- 7.6 Які нормативні рівні відхилення напруги встановлені для сільськогосподарських споживачів?
- 7.7 Що називається режимом зустрічного регулювання напруги?
- 7.8 Що називається режимом сталої напруги?**
- 7.9 Які існують способи регулювання напруги на трансформаторах?
- 7.10 У чому полягає принцип регулювання напруги в мережі за допомогою трансформаторів?
- 7.11 Чим відрізняються надбавки знижувальних і підвищувальних трансформаторів?
- 7.12 Чому для знижувальних трансформаторів перемикання відгалужень здійснюється на високій стороні?
- 7.13 Як визначити втрати напруги на ділянках мережі та у трансформаторах за експериментальними даними?
- 7.14 Як впливає відхилення напруги на роботу електронагрівальних установок?**
- 7.15 Як впливає відхилення напруги на роботу електродвигунів?**

7.16 Як впливає відхилення напруги на роботу освітлювальних установок?

7.17 З якою метою розраховують втрату напруги у максимальному та мінімальному режимі навантаження?

7.18 Яким чином впливають елементи електричного обладнання на втрату напруги в мережі?

7.19 Які надбавки існують у силових трансформаторах та які вони мають значення?

7.20 Чим відрізняються трансформатори із РПН від трансформаторів із ПБЗ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

МАКСИМАЛЬНИЙ СТРУМОВИЙ ЗАХИСТ ІЗ НЕЗАЛЕЖНОЮ ВИТРИМКОЮ ЧАСУ ТА СТРУМОВА ВІДСІЧКА

1 Мета роботи

Ознайомитися із влаштуванням захистів, розрахунком уставок і регулюванням реле на обрану уставку, перевіркою дії захистів лінії й трансформатора на відключення.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися із моделлю релейних захистів лінії та трансформатора і накреслити схему експлуатаційної установки.

2.2 Розрахувати струми уставок захистів лінії та трансформатора.

2.3 Налаштувати захисти на струми уставок.

2.4 Перевірити роботу й оцінити дію захистів.

2.5 Зібрати схему МСЗ із блокуванням по мінімальній напрузі.

2.6 Перевірити роботу та оцінити дію МСЗ із блокуванням по мінімальній напрузі.

2.7 Підготувати таблицю експериментальних даних

3 Теоретичні відомості

Для захисту розімкнутих сільських електричних мереж від короткого замикання використовують **максимальний струмовий захист (МСЗ)** та **струмову відсічку (СВ)**. Спрацьовують вони при збільшенні струму понад задане значення. Відрізняються вони тим, що МСЗ діє з витримкою часу, а СВ – без витримки часу (миттєво). Якщо обидва пристрої використовують для захисту однієї і тієї ж ділянки лінії, то струм спрацювання реле відсічки вибирають значно більшим, ніж струм спрацювання реле МСЗ.

В радіальних мережах з одностороннім живленням **селективність МСЗ** забезпечується вибором відповідних витримок часу, які збільшуються у напрямку від споживачів до джерела живлення.

Струм спрацювання МСЗ, тобто мінімальний струм у фазах лінії, при якому захист спрацьовує, вибирають з урахуванням необхідності повернення захисту після вимикання короткого замикання захистом попередньої ділянки мережі і коефіцієнта самозапуску електродвигунів. Якщо лінія обладнана пристроєм автоматичного повторного вмикання (АПВ), то після повторного вмикання лінії від АПВ електродвигуни, які загальмувались за час безструмової паузи, отримують по цій лінії живлення і самозапускаються; по лінії проходить великий струм пуску електродвигунів. МСЗ не повинен спрацьовувати в цих умовах.

Максимальний струмовий захист є простим за виконанням та надійним захистом, він має низьку вартість і зручний в експлуатації. МСЗ широко використовують в сільських радіальних лініях напругою 10 кВ із одностороннім живленням в якості основного захисту.

Для прискорення дії захисту лінії максимальний струмовий захист можна доповнити струмовою відсічкою, яку використовують для миттєвого (без витримки часу) відключення пошкодженої ділянки лінії при короткому замиканні. Селективність струмової відсічки забезпечується уставками за струмом.

Застосування струмової відсічки є доцільним, якщо зона її дії охоплює не менше 10...15 % довжини лінії, що захищається. Струмова відсічка, як правило, не захищає всю довжину лінії і тому не може бути її основним захистом.

В окремих випадках, коли захищається лінія, що живить тупикову підстанцію, використовують так звану неселективну струмову відсічку, яка може бути чутливою до короткого замикання в будь-якій точці лінії.

Перевагами струмової відсічки є її швидка дія (0,05...0,1с), простота схеми, невелика вартість, можливість застосування в мережах різної конфігурації, в тому числі і з кількома джерелами живлення; недолік – обмеженість зони дії.

4 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

4.1 Ознайомиться із моделлю релейних захистів лінії та трансформатора і накреслити схему експлуатаційної установки. [1 с. 221-242; 2 с. 333-370; 3 с. 297-

4.2 Підготувати таблицю експериментальних даних.

5 Вказівки до виконання лабораторної роботи

5.1 Ознайомитися із моделлю установки (рисунок 3.1).

5.2 Розрахувати струми уставки захистів лінії та трансформатора.

5.3 Налаштувати захист на розрахункові параметри.

5.4 Виконати короткі замикання в точках схеми K1, K2, K3 і K4. Оцінити селективність дії захистів.

5.5 Здійснити короткі замикання в точках K1 і K2. Оцінити дію захисту.

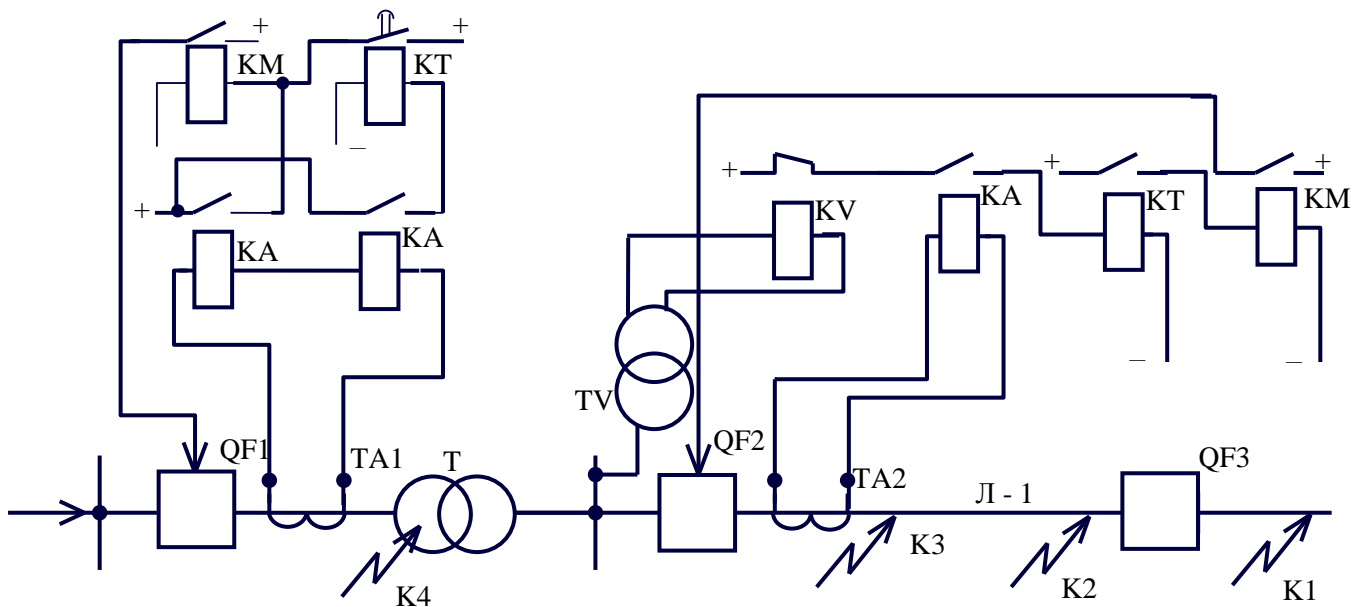


Рисунок 3.1 – Схема захисту лінії та трансформатора

6 Вказівки із оформлення звіту

Звіт повинен містити:

6.1 Принципову однолінійну схему захистів лінії та трансформатора (рисунок 3.1).

6.2 Розрахункові формули для визначення струму спрацьовування і коефіцієнта чутливості для МСЗ і струмової відсічки лінії та трансформатора.

6.3 Розрахунки параметрів захисту лінії й трансформатора (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Вихідні величини

Значення струму к.з. у точках, А	К1	К2	К3	К4
ВН				
НН				

Таблиця 3.2 – Розрахункові величини

Вид захисту	Об'єкт	I_A, A	K_{CX}	K_H	K_B	$\Delta t, з$	I_y, A	I_K, A	$K_{ч}$	Примітки
МСЗ	Л	2,2	1,0		0,85					
МСЗ	Т		1,0		0,85	0,5				
Відсічка	Т		1,0							

7 Контрольні запитання

- 7.1 Що таке коефіцієнт схеми?
- 7.2 Як досягається селективність МСЗ?
- 7.3 Як досягається селективність струмової відсічки?
- 7.4 Як визначається струм спрацьовування МСЗ?
- 7.5 Як визначається струм спрацьовування струмової відсічки?
- 7.6 Як визначається коефіцієнт чутливості МСЗ?
- 7.7 Як визначається коефіцієнт чутливості струмової відсічки?
- 7.8 Чим визначається значення коефіцієнта само запуску?
- 7.9 Яким чином виконання МСЗ із пуском по мінімальній напрузі підвищує чутливість захисту по струму?
- 7.10 Чому при розрахунку струмової відсічки не враховують коефіцієнт повернення реле?
- 7.11 Які особливості силового трансформатора варто додатково врахувати при виборі струму спрацьовування відсічки?

- 7.12 Поясніть ступінчастий принцип вибору витримки часу МСЗ.
- 7.13 Чому на ступінь витримки часу впливають типи використовуваних реле, вимикачів і приводів до них?
- 7.14 Як працює МСЗ на паралельно включених силових трансформаторах при ушкодженні в одному з них?
- 7.15 Чому схема включення на різницю струмів двох фаз має меншу чутливість у порівнянні з іншими схемами?
- 7.16 Які коефіцієнти при розрахунку струмів МСЗ та відсічки визначаються за типом використовуваних в схемі захисту реле?
- 7.17 Що враховує коефіцієнт надійності та чому при розрахунку відсічки він більше ніж при розрахунку МСЗ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

АВТОМАТИЧНЕ ПОВТОРНЕ ВМИКАННЯ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

1 Мета роботи

Вивчити призначення, принцип дії, конструкцію і схеми пристроїв автоматичного повторного ввімкнення (АПВ).

2 Програма роботи

2.1 Записати основні технічні (паспортні) дані пристрою АПВ типа РПВ-58, приладів і апаратів.

2.2 Вивчити принцип дії, конструкцію і схеми пристроїв АПВ, методи узгодження дії АПВ з релейним захистом.

2.3 Скласти і експериментально перевірити схему АПВ при стійких і нестійких коротких замиканнях в лінії електропередачі.

2.4 Провести експериментальне дослідження поведінки споживача при АПВ (на прикладі асинхронного двигуна).

2.5 Сформулювати висновки по роботі.

3 Теоретичні положення

Автоматичне повторне ввімкнення вимикачів і сучасних енергосистемах є одним із основних заходів підвищення надійності роботи енергосистем і безперервності живлення споживачів.

Тривалий досвід експлуатації показав, що значна кількість порушень ізоляції електроустановок взагалі і повітряних ліній в особливості є нестійкою і само знищуються після зняття напруги. Такі пошкодження виникають в результаті грозових перекивань ізоляції, сплітання проводів при вітрі і скидання ожеледі, падіння дерев, зачіпання проводів ліній рухомими механізмами (крани, стогометальники) і т.п.

Якщо час дії релейного захисту невеликий, то електрична дуга, що виникла в місті порушення ізоляції, не встигає нанести значних ушкоджень (перегорання проводів, повне руйнування ізолятору) і ввімкнена повторно лінія залишається в роботі, тобто виконується успішне АПВ. Стійкі ушкодження, такі, як обривання проводів, замикання проводів обірваним грозозахисним тросом, пошкодження і падіння опор, трапляються значно рідше. В таких випадках АПВ є неуспішним, лінія знову вимикається релейним захистом.

Таким чином, АПВ призначене для швидкого відтворення електропостачання споживачів при нестійких к.з., а значить, зменшувати або не допускати збитків, що наносяться споживачам.

Особлива велика ефективність АПВ сільських ПЛ 10 кВ, так як вони дуже протяжні, проходять по відкритую місцевості і в результаті цього часто підлягають атмосферним впливам.

У зв'язку з високою ефективністю пристроїв АПВ ПУЕ вимагають виконання автоматичного повторного ввімкнення для всіх повітряних і кабельно-повітряних ліній всіх типів напругою вище 1000 В. АПВ трансформаторів, кабельних ліній, шин 6...10 кВ та іншого обладнання значно менш ефективне, і тому в сільських електроустановках не використовується.

Дуже ефективно АПВ при помилкових діях персоналу, а також при прохідних порушеннях ізоляції оперативних кіл, що викликають вимкнення вимикача. Поряд з іншою електроавтоматикою АПВ є одним з основних засобів, що дозволяють на переважній більшості підстанцій розподільчих мереж відмовитися від постійного чергового персоналу і перевести їх обслуговування оперативно-виїздною бригадою (ОВБ).

Застосування АПВ забезпечило можливість широкого впровадження в розподільчих мережах підстанцій 35...110 кВ, виконаних без вимикачів (відокремлювачі і короткозамикачі) на боці високої напруги. Поєднання дії пристрою АПВ і релейного захисту дозволяє застосовувати неселективний захист з наступним виправленням неселективної дії, вводити прискорення дії релейного захисту до і після АПВ.

Пристрої АПВ класифікуються:

- за кількістю фаз – трьохфазні і однофазні;
- за кратністю – однократні та багатократні;
- за способом впливу на привод вимикача – механічні і електричні;
- за призначенням – для ліній з одностороннім і двостороннім живленням.

ПУЕ і різні директивні матеріали регламентують такі основні вимоги до АПВ:

1. Пристрої АПВ повинні спрацювати при відключенні вимикача релейним захистом, за виключенням спрацювання релейного захисту одразу після оперативного вмикання вимикача на коротке замикання будь-яким способом.

2. АПВ не повинно виконуватися при оперативному вмиканні вимикача вручну, від ключа керування і по телекеруванню.

3. Повинна бути виключена можливість багатократного вмикання на стійке коротке замикання (тобто АПВ повинне відбуватися з заданою кратністю)

4. АПВ повинне здійснюватися із наперед обраною витримкою часу

5. Схеми пристроїв АПВ повинні мати автоматичне повернення для необслуговуваних підстанцій, забезпечувати блокування АПВ при роботі деяких пристроїв протиаварійної автоматики і релейного захисту (частотне розвантаження, захисти трансформаторів від внутрішніх пошкоджень), забезпечувати ввід в роботу і вивід із роботи оперативним персоналом.

Для ліній з одностороннім живленням, а також для працюючих в умовно замкненому режимі (з мережевим АВР) час спрацювання пристрою АПВ однократної дії (тривалість безструмової паузи до АПВ) визначається наступними умовами:

$$t_{\text{АПВ}} \geq t_{\text{д}} + t_{\text{ЗАП}}, \quad (4.1)$$

де $t_{\text{д}}$ - час деіонізації середовища в місці к.з. (для мереж 6...35 кВ не перевищує 0,2 с);

$t_{\text{ЗАП}}=0,3...0,4$ с (час запасу враховує неточності розрахунку і похибки роботи

апаратури).

$$t_{\text{АПВ}} \geq t_{\text{Г.П.}} + t_{\text{ЗАП}}, \quad (4.2)$$

де $t_{\text{Г.П.}}$ - час готовності приводу, 0,1...0,2 с;

$$t_{\text{АПВ}} \geq t_{\text{Г.В.}} + t_{\text{В.В.}} + t_{\text{ЗАП}}, \quad (4.3)$$

де $t_{\text{Г.В.}}$ - час готовності вимикача, 0,2... 2 с;

$t_{\text{В.В.}}$ - час вмикання вимикача.

З цих умов приймається найбільше значення. В теперішній час на сонові досліду експлуатації в сільських електричних мережах напругою 10 кВ приймається $t_{\text{АПВ}} \approx 2...3$ с. При двократному АПВ, другий цикл повинен відбуватися не менше, ніж через 15...20 с.

Наявність пристрою АПВ дозволяє розширити область застосування релейного захисту без витримки часу, в першу чергу, струмової відсічки. Використовуються два варіанта струмової відсічки – з прискоренням до і після АПВ. В першому випадку струм спрацювання відсічки, що діє на вимикач головної ділянки лінії, відстроюється від короткого замикання в кінці лінії, а не в кінці головної ділянки, як звичайно. Відповідно відсічка спрацьовує і вимикає вимикач головної ділянки не тільки при к.з. на цій ділянці, але й на інших ділянках лінії, діючи неселективно. Однак потім спрацьовує пристрій АПВ і при успішному повторному вмиканні лінія залишається в роботі. Для виключення неселективної дії відсічки при неуспішному АПВ (к.з. не усунуто) виводиться після першого спрацювання із дії, а стійкі короткі замикання селективно вимикаються максимальним струмовим захистом із відповідною витримкою часу.

При використанні захисту з прискоренням дії після АПВ відсічка не працює (виводиться із дії) при першому вмиканні пошкодженої лінії, яке здійснюється селективно максимальним струмовим захистом. При наступному неуспішному АПВ вимикача лінії вводиться в дію струмова відсічка і вимикає цей вимикач без витримки часу.

Таким чином, використання захисту з прискоренням дії до АПВ забезпечує вмикання коротких замикань без витримки часу при всіх успішних

АПВ, а при прискоренні після АПВ – при всіх стійких ушкодженнях (неуспішних АПВ).

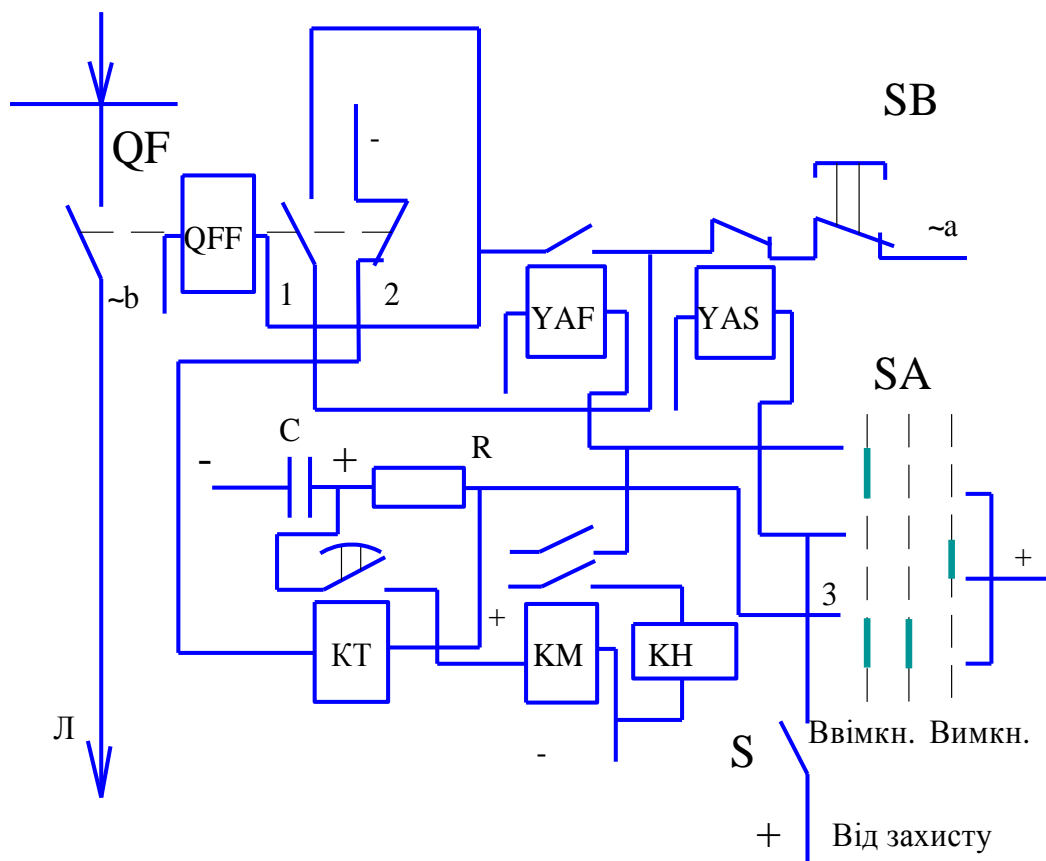


Рисунок 4.1 – Схема лабораторної установки АПВ

4 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

4.1 Вивчити теоретичний матеріал по темі «Автоматичне повторне ввімкнення». 4.2 Накреслити електричну принципову схему експериментальної установки.

4.3 З'ясувати принцип роботи схеми.

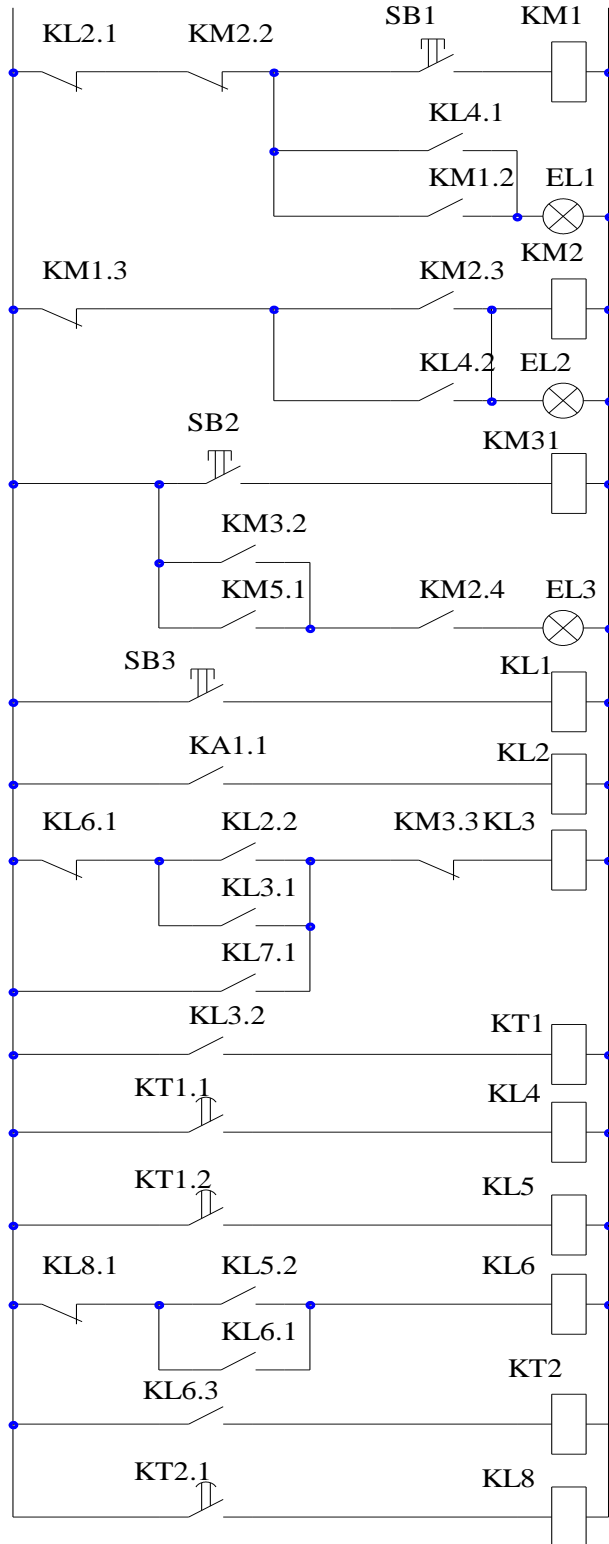
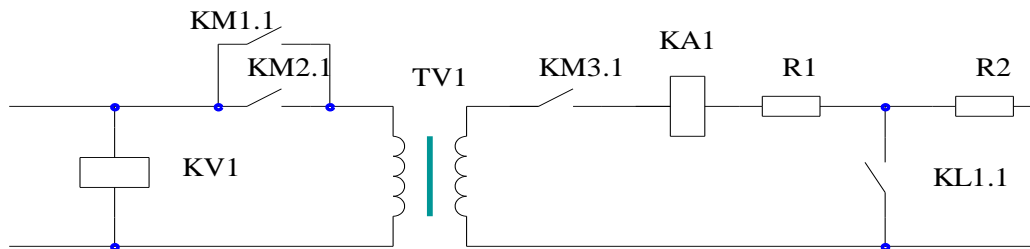
4.4 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

5 Порядок проведення

5.1 Ознайомитися з моделлю і органами керування АПВ

5.2 Ввімкнути вимикач з боку високої напруги кнопкою SB1. Ввімкнути вимикач з боку низької напруги кнопкою SB2.

5.3 Короткочасно натиснути кнопку SB3 імітуючи к.з. з боку лінії низької напруги і простежити за роботою схеми.



Вимикач на стороні ВН Ф1
Вимикач на стороні ВН Ф2
Вимикач на стороні НН
Перевантаження на стороні НН
МСЗ
АПВ
Пам'ять АПВ
Повернення АПВ

Рисунок 4.2 – Принципова електрична схема виконання АПВ

5.4 Тривало натиснути кнопку SB3 імітуючи к.з. з боку лінії низької напруги, простежити за роботою схеми та заміряти час спрацювання схеми захисту.

5.5 Повторно тривало натиснути кнопку SB3 і простежити за роботою схеми, заміряти час спрацювання схеми.

6 Зміст звіту

6.1 Навести теоретичні відомості, про призначення, будову та принцип дії АПВ.

6.2 Привести принципову схему лабораторної установки (рисунок 4.1).

6.3 Навести основні технічні (паспортні) дані пристрою АПВ типу РПВ-01, а також приладів і апаратів лабораторної установки.

6.4 Навести висновки про роботу схеми АПВ в різних режимах роботи.

6.5 Побудувати графік циклу двократного АПВ за даними лабораторної роботи.

6.6 Побудувати графік успішного однократного АПВ.

7 Контрольні запитання

7.1 Призначення пристрою АПВ.

7.2 Основні вимоги до пристроїв АПВ.

7.3 Класифікація пристроїв АПВ.

7.4 Чим обмежується мінімальний час дії АПВ?

7.5 В яких випадках дія АПВ може бути неуспішною (навести приклади)?

7.6 Пояснити роботу схеми лабораторної установки.

7.7 Що таке успішне АПВ?

7.8 В яких випадках схеми АПВ не повинні приходити у дію?

7.9 Принципи виконання АПВ

7.10 Як працює схема АПВ в нормальному режимі?

7.11 Чим забезпечується задана кратність спрацювання АПВ?

7.12 Чим обмежується мінімальний час дії АПВ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

АВТОМАТИЧНЕ ВИМКАННЯ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ

1 Мета роботи

Вивчити методи, схеми автоматичного ввімкнення резервного джерела і принцип роботи пристроїв автоматичного ввімкнення резерву (АВР)

2 Програма роботи

2.1 Записати основні технічні (паспортні) дані реле, пристроїв, що використовуються на стенді

2.2 Вивчити принцип дії, вимоги до пристроїв АВР і принцип дії

2.3 Провести дослідження працездатності схеми АВР, що наведена на стенді, попередньо обравши робочі уставки реле напруги і реле часу

2.4 Експериментально дослідити поведінку споживачів при АВР

2.5 Сформулювати висновки по роботі

3 Теоретичні положення

Схеми електричних з'єднань енергосистем і окремих електроустановок повинні забезпечувати надійність електропостачання споживачів.

У випадку стійкого пошкодження (к.з.) на лініях та інших елементах мережі, такий елемент вимикається і для відтворення електропостачання споживачів необхідно ввімкнути резервне живлення – трансформатор або генератор, резервну живлячу лінію або будь-який інший резерв. Такий резерв підключається автоматичними пристроями – пристроями АВР.

Таким чином, АВР призначене для перемикання споживачів з пошкодженого джерела живлення на справний, резервний.

Пристрої АВР класифікують за наступними ознаками:

- а) за призначенням – АВР ліній, трансформаторів, двигунів;
- б) за контролем напруги на резервному джерелі – без контролю напруги

і з контролем;

в) за напрямком дії – односторонньої і двосторонньої;

г) за характером взаємодії – місцеві і мережеві.

До місцевих АВР відносяться пристрої, пусковий орган яких діє на відключення робочого вводу, а потім на включення резервного вводу. Ці дії не виходять за межі підстанції або розподільчого пункту.

До мережевих відносяться АВР, що діють на ввімкнення мережевого резервного вимикача.

На підстанціях 10(6) кВ агропромислових підприємств, як правило здійснюється окреме живлення від двох джерел (рисунок 5.1).

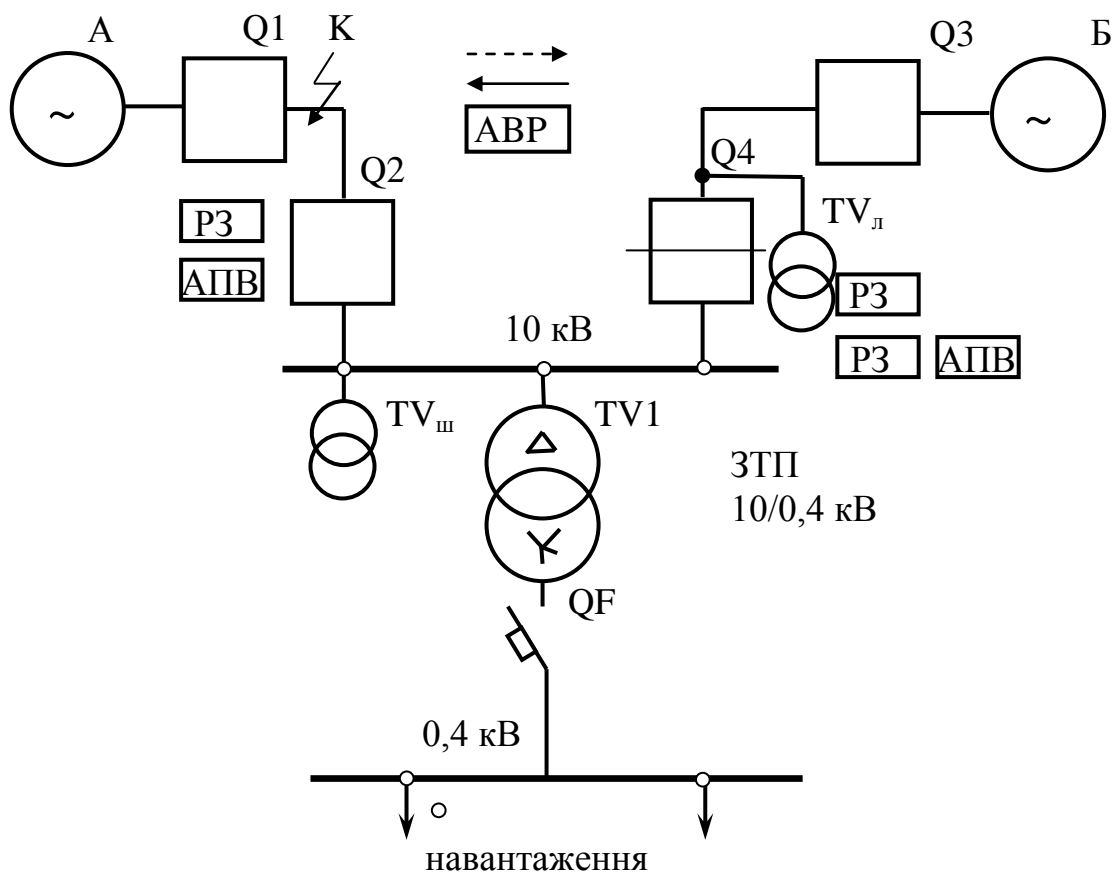


Рисунок 5.1 – Схема підстанції закритого типу ЗТП 10/0,4 кВ з пристроєм АВР односторонньої дії

Окреме живлення дозволяє знизити струми к.з. і застосувати більш дешеву апаратуру (вимикачі, роз'єднувачі), спростити релейний захист, знизити втрати електроенергії в мережах 10 (6) кВ. При відключенні робочого джерела

живлення (наприклад, А) відтворення електропостачання споживачів - навантаження виконується автоматично від резервного джерела живлення Б за допомогою пристрою АВР. Пристрій АВР (в даному випадку, місцевий) при зникненні напруги на шинах підстанції діє спочатку на відключення вимикача робочого вводу (Q2), після чого одразу вмикається вимикач резервного вводу (Q4). Місцеві АВР виконуються односторонньої дії або двосторонньої.

Успішність дії АВР складає 90...95%. Простота схем і висока ефективність обумовили широке застосування АВР на електростанціях і в електричних мережах.

Схеми АВР повинні виконуватись у відповідності з наступними вимогами:

- при відключенні вимикача робочого вводу за будь-якою причиною миттєво повинен ввімкнутися вимикач резервного вводу;

- при зникненні напруги зі сторони робочого джерела повинен спрацювати спеціальний пусковий орган напруги, який при наявності напруги на резервному джерелі повинен діяти із заданою витримкою часу на відключення вимикача робочого джерела; наприклад при к.з. в точці К на лінії робочого живлення вимикається релейним захистом РЗ вимикач Q1, на шинах підстанції 10 кВ зникає напруга, працює пусковий орган напруги, ввімкнений на шинний трансформатор напруги $TV_{ш}$, і з заданою витримкою часу вимикає вимикач робочого вводу Q2, після чого миттєво вмикається вимикач резервного вводу Q4; при цьому наявність напруги на резервній лінії від джерела Б контролюється тим, що оперативна напруга для відключення робочого вимикача Q2 отримується від лінійного трансформатора напруги $TV_{л}$, пусковий орган напруги не повинний передбачатися, якщо робочий і резервний вводи мають одне джерело живлення;

- мінімальні реле напруги пускового органу не повинні спрацювати при зниженнях напруги при самозапуску електродвигунів навантаження, тому їх налагоджують таким чином, що пуск АВР може відбутись тільки при глибокому зниженні напруги, нижче 0,4 номінального, при якому самозапуск немож-

ливий;

- дія пристрою АВР повинна бути однократною; в існуючих схемах однократність дії забезпечується різними способами: при використанні пружинних приводів – спеціальним контактом готовності приводу, також, як в схемах пристроїв АПВ; при встановленні спеціальних реле РПВ – за допомогою попередньо зарядженого конденсатору, який, розрядившись при ввімкненні вимикача, не заряджається при вимкненому його положенні; використовуються також двопозиційні реле, які після дії пристрою АВР спрацьовують і розмикають коло ввімкнення і залишаються в такому положенні до прибуття чергового персоналу;

- при виконанні пристрою АВР слід перевіряти можливість перевантаження резервного джерела живлення і при необхідності виконувати його для розвантаження спеціальну автоматику відключення частини споживачів при дії АВР;

- при відключенні робочої лінії (трансформатору) пристроєм автоматичного частотного розвантаження АЧР внаслідок загальносистемного аварійного зниження частоти дія пристрою АВР повинна заборонятися;

- при дії пристрою АВР, коли можливе ввімкнення резервного вимикача на к.з. (на шинах резервованої підстанції або на лінії робочого живлення при відмові у відключенні вимикача Q2), на резервному вимикачі Q4 повинний передбачатися релейний захист, причому, якщо час дії цього захисту перевищує 1 с, рекомендується автоматично прискорювати її дію до 0,4...0,5 с; після відтворення нормальної напруги на робочій лінії з боку основного джерела живлення повинно, як правило, забезпечуватися по можливості більш повне відтворення схеми до аварійного режиму.

В якості пускового органу, який повинен забезпечувати дію пристрою АВР при зникненні напруги основного джерела, використовується реле мінімальної напруги. В ряді випадків роль пускового органу виконує реле часу із якорем, що повертається (в нормальному режимі реле часу знаходиться постійно під напругою, і якір притягнутий). Уставка спрацювання цих реле звичайно

обирається із умови

$$U_{\text{спр}} = (0,25 \dots 0,4) U_{\text{ном}} \quad (5.1)$$

Час спрацювання пускового органу пристрою АВР ($t_{\text{СПР.АВР}}$) обирається із наступних умов:

а) відстроювання від часу спрацювання тих захистів, в зоні дії яких пошкодження можуть викликати зниження напруги нижче прийнятого за умовою (10.1)

$$t_{\text{СПР.АВР}} \geq t_{\text{СЗ}} + \Delta t, \quad (5.2)$$

де $t_{\text{СЗ}}$ - найбільший час спрацювання вказаних захистів, с;

Δt - ступінь селективності, що дорівнює 0,6 с, при використанні реле часу зі шкалою до 9 с і 1,5...2,0 с зі шкалою до 20 с;

б) узгодження дії з іншими пристроями автоматики (наприклад, АПВ лінії)

$$t_{\text{СПР.АВР}} \geq t_{\text{СЗ}} + t_{\text{АПВ}} + t_{\text{зап}}, \quad (5.3)$$

де $t_{\text{СЗ}}$ - найбільший час спрацювання захисту лінії, що передає енергію споживачам, для яких здійснюється АВР, с;

$t_{\text{АПВ}}$ - час циклу неуспішного АПВ цієї;

$t_{\text{зап}}$ - запас за часом, що приймається 2...3 с.

Головною особливістю мережевого АВР є те, що пристрій АВР діє на ввімкнення вимикача, що знаходиться у вимкненому положенні в режимі АВР, а попереднє відключення робочих вимикачів здійснюється іншими пристроями (ДМЗ – ділильним захистом), що знаходяться на інших підстанціях мережі 10 кВ, що розглядається.

Комплекс пристроїв автоматики, що входять в склад мережевого АВР, виконує наступні задачі:

- перемикання живлення мережі на резервне джерело при відключенні робочого – це виконує сам пристрій АВР;

- попередження подачі напруги від резервного джерела на пошкоджене робоче джерело живлення (на робочу лінію, шини, трансформатор) – цю задачу

виконують пристрої ділительного захисту мінімальної напруги (ДМЗ), які діють перед спрацюванням мережевого АВР;

- виконання при необхідності автоматичної перебудови релейного захисту в зв'язку із зміною режиму роботи мережі; це здійснюється, як правило, вводом в дію одного з двох комплектів захисту або при зміні напруги, або при зміні напрямку потужності, або в залежності від напрямку дії пускового органу напруги двостороннього АВР).

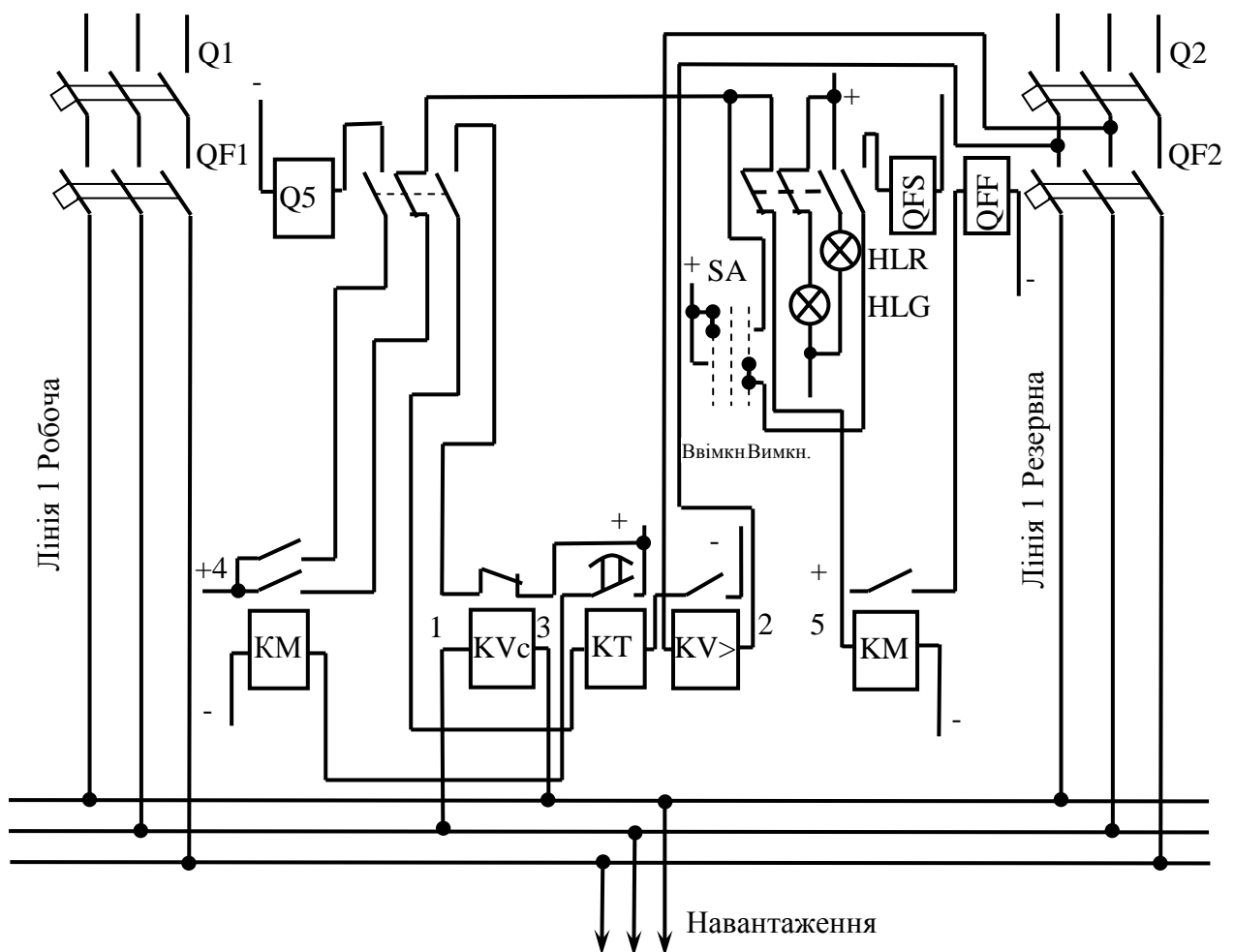


Рисунок 5.2 – Схема лабораторної установки АПВ

4 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

4.1 Вивчити теоретичний матеріал по темі «Автоматичне ввімкнення резерву».

4.2 Накреслити електричну принципову схему експериментальної уста-

НОВКИ.

4.3 З'ясувати принцип роботи схеми.

4.4 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

5 Порядок проведення

5.1 Ознайомитися з моделлю і органами керування АВР

5.2 Ввімкнути вимикач з боку високої напруги кнопкою SB1. Ввімкнути вимикач з боку низької напруги кнопкою SB2.

5.3 Натиснути кнопку SB4, імітуючи обрив лінії і простежити за роботою схеми.

6 Зміст звіту

6.1 Привести принципову схему автоматичного ввімкнення резерву АВР.

6.2 Привести принципову схему лабораторної установки.

6.3 Дати відповіді на контрольні питання 1-3.

6.4 Привести висновки про роботу схеми АВР в різних режимах роботи.

7 Контрольні запитання

7.1 Призначення АВР.

7.2 Класифікація АВР.

7.3 Вимоги до пристроїв АВР.

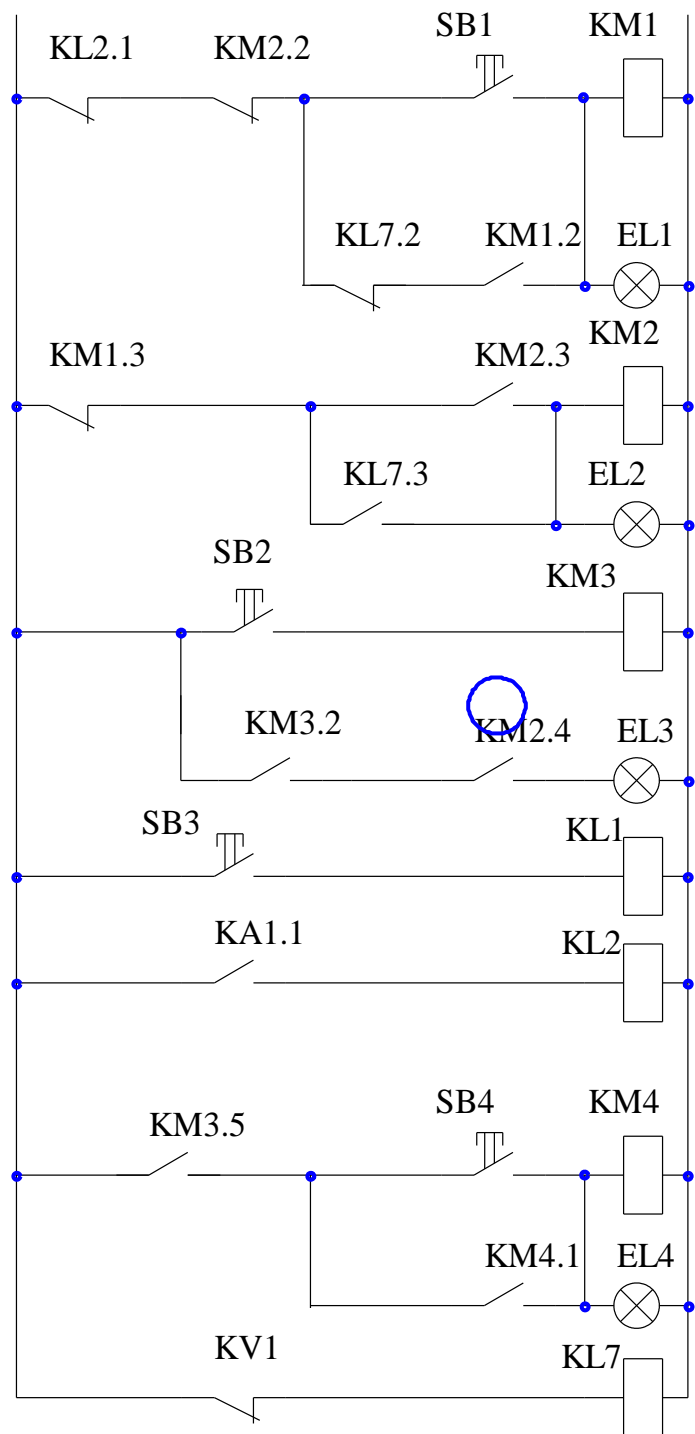
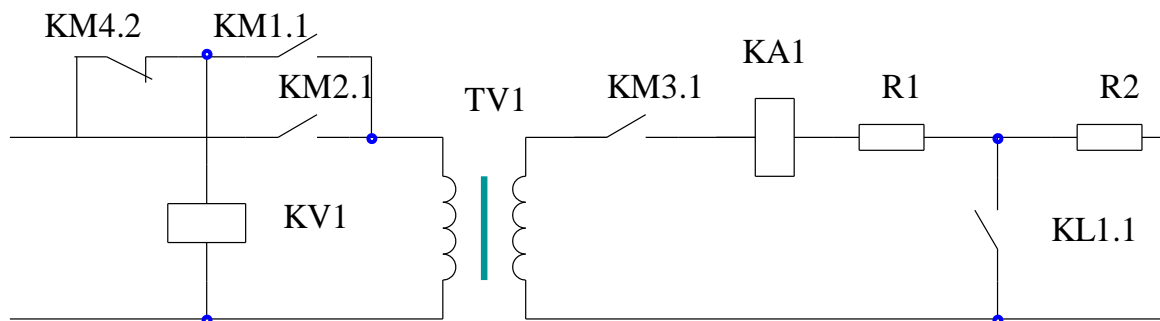
7.4 Призначення захистів за мінімальною і максимальною напругою

7.5 Як працює схема АВР в нормальному режимі?

7.6 Як працює схема АВР при відсутності напруги на резервній лінії?

7.7 Чим відрізняється схема АВР односторонньої дії від схеми АВР двосторонньої дії?

7.8 Як працює схема лабораторної установки?



Вимикач на стороні ВН Ф1
Вимикач на стороні ВН Ф2
Вимикач на стороні НН
Перевантаження на стороні НН
МСЗ
Пошкодження фідера Ф1
АВР

Рисунок 5.3 – Принципова електрична схема виконання АВР

Список літератури

1. Правила устройства электроустановок. – Х.: Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2007. – 416с.
2. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства: (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений) / И.А. Будзко, Н.М. Зуль. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
3. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства: (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений)/И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
4. Притака І.П. Електропостачання сільського господарства – 2-е вид. перероб. та доп./І.П. Притака. - К.: Вища школа. Головне вид-во, 1983.– 343с.
5. Притака І.П. Електропостачання сільського господарства / І.П. Притака, В.В. Козирський. – К.: Урожай, 1995.– 304с.
6. Єрмолаєв С.О. Проектування систем електропостачання в АПК/ С.О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлев, В.О. Мунтян та ін. – Мелітополь: Люкс, 2009. – 568 с.
7. Практикум по електрообладуванню сільського господарства /под ред. И.А. Будзко. – М.: Колос, 1982. – 319с.
8. Каганов И. Л. Курсовое и дипломное проектирование/И.Л. Каганов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351с.
9. Харкута К.С. Практикум по электрообладуванню сільського господарства: (Учебники и учеб. пособия для учащихся техникумов)/К.С. Харкута, С.В. Яницкий, Э.В. Ляш. – М.: Агропромиздат, 1992. – 223с.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК (ВЕУ)

1 Мета роботи

Ознайомитися з конструкцією, принципом дії та основними параметрами ВЕУ

2 Програма роботи

- 2.1 Вивчити конструкцію ВЕУ.
- 2.2 Ознайомитися із принципом дії вітроустановок.
- 2.3 Підготувати відповіді на контрольні питання.

3 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

- 3.1 Ознайомитися з конструкцією й комплектацією ВЕУ.
- 3.2 Ознайомитися із принципом дії вітроагрегатів.
- 3.3 Підготувати відповіді на контрольні питання.

4 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

- 4.1 На стенді й по плакатах вивчити конструкцію вітроагрегатів.
- 4.2 Ознайомитися з основними характеристиками ВЕУ
- 4.3. На стенді й по плакатах вивчити конструкції вітроагрегатів різних типів.
- 4.4 Виписати основні технічні характеристики.

5 Теоретична частина

Вітер являє собою рух повітряних мас земної атмосфери, викликаний перепадом температури в атмосфері через нерівномірне нагрівання її Сонцем. Та-

ким чином, використовувана енергія вітру є перетвореною в механічну енергією Сонця.

Пристрої, що перетворюють енергію вітру в корисну механічну, електричну або теплову види енергії, називаються вітроенергетичними установками (ВЕУ) або вітроустановками.

Енергія вітру в механічних установках, наприклад, на млинах і в водяних насосах, використовується вже кілька століть. Після різкого стрибка цін на нафту в 1973 році інтерес до таких установок різко зріс.

Велика частина існуючих вітроустановок побудована в кінці 1970-х - на початку 1980-х років на сучасному технічному рівні при широкому використуванні останніх досягнень аеродинаміки, механіки, мікроелектроніки для контролю і управління ними.

Основні напрямки використання вітроенергетичних ресурсів на найближчий період передбачають їх застосування для приводу насосних установок і в якості джерел енергії для електродвигунів та автономного забезпечення. Ці області застосування характеризуються мінімальними вимогами до якості електричної енергії, що дозволяє різко спростити і здешевити вітроенергетичні установки.

При правильній організації використання вітроенергетики таке дешеве і невичерпне джерело енергії, як вітер, може задовольнити більшу частину потреб у будь-якій галузі промисловості. Установки, що перетворюють енергію вітру в електричну, теплову та механічну, можуть забезпечити:

- автономне енергопостачання різних локальних об'єктів (зрошувальні системи, механізми тваринницьких ферм, вентиляцію, мікроклімат і т. п.);
- гаряче водопостачання, опалення, енергозабезпечення холодильних агрегатів;
- підйом води для садових ділянок, на пасовищах і т. п. ;
- відкачку води з систем вертикального і горизонтального дренажу
- та інших систем.

У порівнянні з іншими видами джерел енергії вітроенергетичні установки

мають такі переваги:

- відсутність витрат на видобуток і транспортування палива;
- зниження більш ніж в 10 разів трудовитрат на спорудження вітроенергетичної установки в порівнянні з будівництвом теплових чи атомних станцій;
- широкий технологічний діапазон прямого використання енергії вітроустановки (автономність або спільна робота з централізованими мережами, сумісність з іншими джерелами відновлюваної енергетики та т. п.);
- мінімальні терміни введення потужностей в експлуатацію;
- поліпшення екологічної обстановки за рахунок зниження рівня забруднення навколишнього середовища.

Принцип дії ВЕУ

В вітроенергетичних установках енергія вітру перетворюється в механічну енергію їх робочих органів. Первинним і основним робочим органом ВЕУ, безпосередньо приймаючим на себе енергію вітру і, як правило, перетворюючим її в кінетичну енергію свого обертання, є вітроколесо або лопаті.

Обертання вітроколеса під дією вітру обумовлюється тим, що в принципі на будь-яке тіло, обтічне потоком газу зі швидкістю u_0 , діє сила F , яку можна розкласти на дві складові: 1 - уздовж швидкості набігаючого потоку, звану силою лобового опору F_c , і 2 - в напрямку, перпендикулярному швидкості потоку, що набігає, який називається підйомною силою F_n (рис. 1).

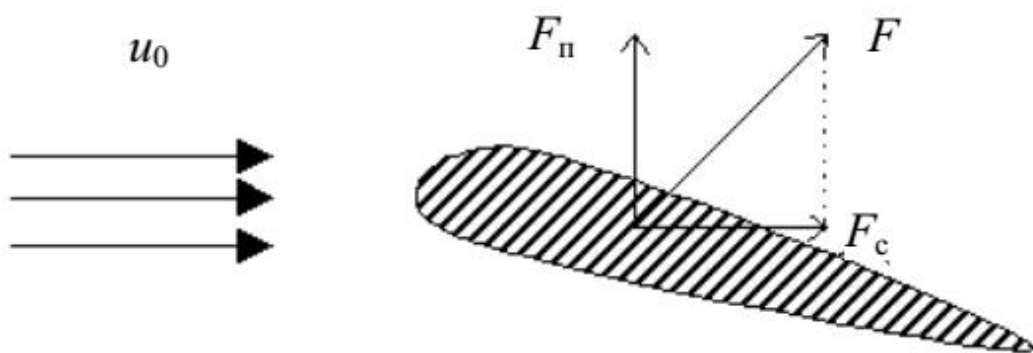


Рисунок 1 - Сили, що діють на тіло, обтічне потоком газу

Величини цих сил залежать від форми тіла, орієнтації його в потоці газу і від швидкості газу. Дією цих сил робочий орган вітроустановки (вітроколесо) наводиться в обертання.

Вітроустановки класифікують за двома основними ознаками геометрії вітроколеса і його становищу щодо напрямлення вітру. Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою, якщо перпендикулярна - вертикально-осьовою.

Вітрогенераторами називають двигуни, що перетворюють енергію вітру в механічну роботу. По пристрою вітряка і положенню його в потоці вітру системи вітродвигунів розділяються на три класи:

1. Крильчаті вітрогенератори мають вітроколесо з тим або іншим числом крил. Площина обертання вітроколеса у крильчатих вітродвигунів перпендикулярна напрямку вітру, отже, вісь обертання паралельна вітру (рис. 2, а). Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітродвигунів досягає $\xi=0,42$.

2. Карусельні і роторні вітрогенератори мають вітроколесо (ротор) з лопатями, рухомими у напрямі вітру; вісь обертання вітроколеса займає вертикальне положення (рис. 2, б). Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітродвигунів рівний від 10 до 18%.

3. Барабанні вітрогенератори мають таку ж схему вітроколеса, як і роторні, і відрізняються від них лише горизонтальним положенням ротора, тобто вісь обертання вітроколеса горизонтальна і розташована перпендикулярно потоку вітру (рис. 2, г). Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітряків від 6 до 8%.

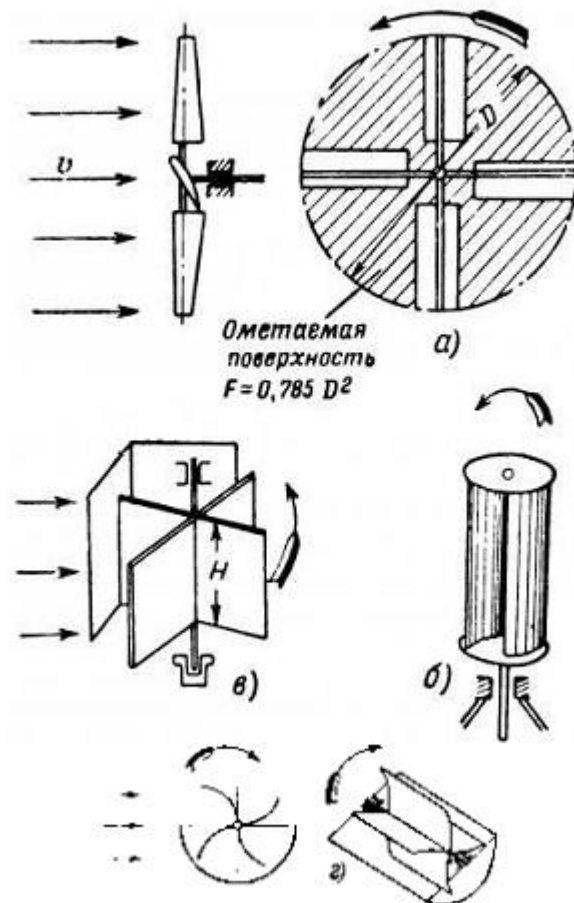


Рисунок 2 - Типи вітродвигунів : а) - крильчаті вітродвигуни; б) - роторні вітрогенератори; в) - карусельні вітрогенератори; г) - барабанні вітрогенератори.

Залежно від потужності генератора вітроустановки поділяються на класи, їхні параметри та призначення наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Класифікація вітроустановок

Клас устано- вки	Потужність, кВт	Діаметр ко- леса, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потуж- ності	15 - 50	3 - 10	3 - 2	Зарядження аку- муляторів, насо- си, побутові пот- реби
Середньої по- тужності	100 - 600	25 - 44	3 - 2	Енергетика
Великої по- тужності	1000 - 4000	> 45	2	Енергетика

Є дві принципово різні конструкції вітроустановок: з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Більш поширені вітроустановки з горизонтальною віссю (рис. 3).

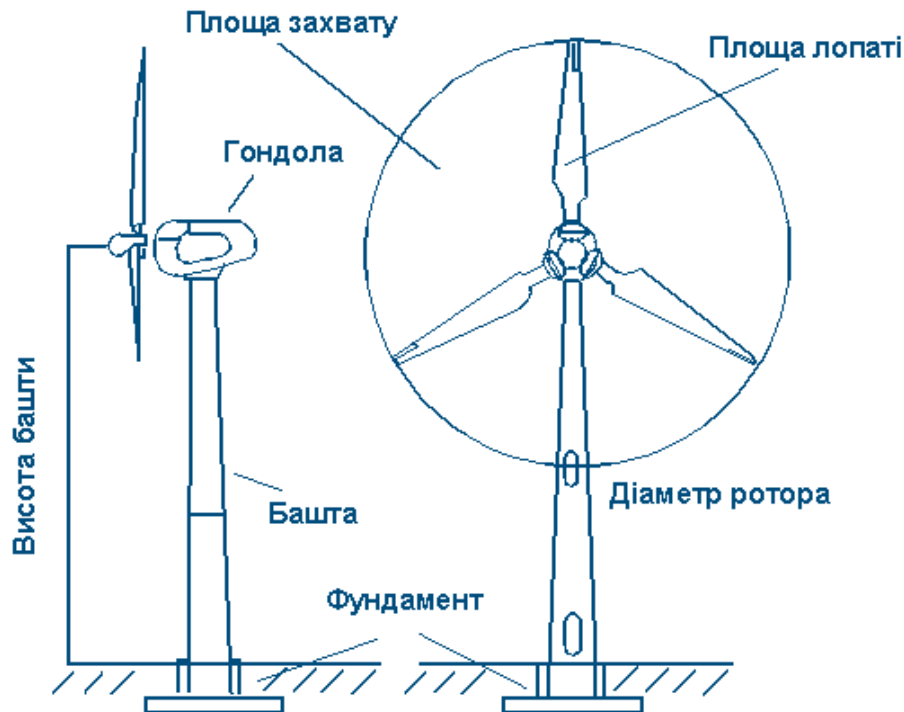


Рисунок 3 - Елементи вітроенергетичних установок

Основними елементами вітроенергетичних установок є вітроприймальний пристрій (лопаті), редуктор передачі крутільного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором передачі крутільного моменту утворює вітродвигун. Завдяки спеціальній конфігурації вітроприймального пристрою в повітряному потоці виникають несиметричні сили, що створюють крутільний момент.

Оскільки вітер може змінювати свою силу та напрямок, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю та безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвертання вісі обертання за вітром, нахилу лопатей відносно землі за критичної швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності й аварійного відключення для установок великої потужності.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання мають перевагу перед установками з горизонтальною віссю, яка полягає насамперед в тому, що зникає необхідність у пристроях для орієнтації на вітер, спрощується конструкція та знижуються гіроскопічні навантаження, які зумовлюють додаткову напругу в лопатях, системі передач та інших елементах установки.

Будова сучасного вітрогенератора (вітрової турбіни) наведена на рис. 4, крім того він може містити систему пожежогасіння, телекомунікаційну систему для передачі даних про свою роботу, а також систему захисту від блискавки.

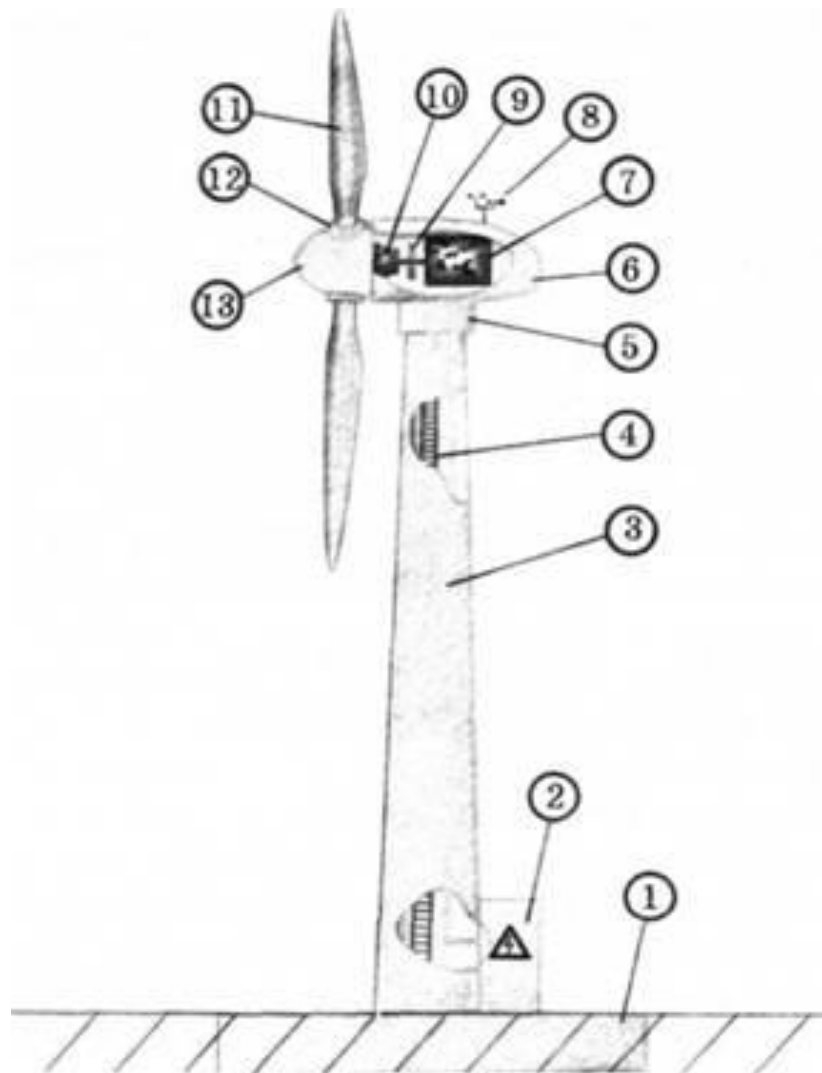


Рисунок 4 - Будова вітрогенератора: 1 - фундамент; 2 - силова шафа, що включає силові контактори і ланцюги керування; 3 - вежа; 4 - сходи; 5 - поворотний механізм; 6 - гондола; 7 - електричний генератор; 8 - система спостере-

ження за напрямком і швидкістю вітру (анемометр); 9 - гальмова система; 10 - трансмісія; 11 - лопаті; 12 - система зміни куту атаки; 13 - ковпак ротора

Система з вітроенергетичних установок і є вітровою електростанцією. Малі вітряки можуть повністю забезпечувати електроенергією один або декілька будинків, невеликі промислові об'єкти. Такі установки здатні працювати при середній швидкості вітру від 4 м/с, і ціни на них невпинно знижуються. Індустрія домашніх вітряків активно розвивається. Як правило, для невеликого котеджу достатньо вітряка номінальною потужністю 1 кВт при швидкості вітру 9 м/с. Якщо місцевість не вітряна, то його можна доповнити сонячними батареями - ці джерела енергії можуть доповнювати одне одного.

Параметри вітроустановки пов'язані між собою нескладними однозначними фізичними залежностями.

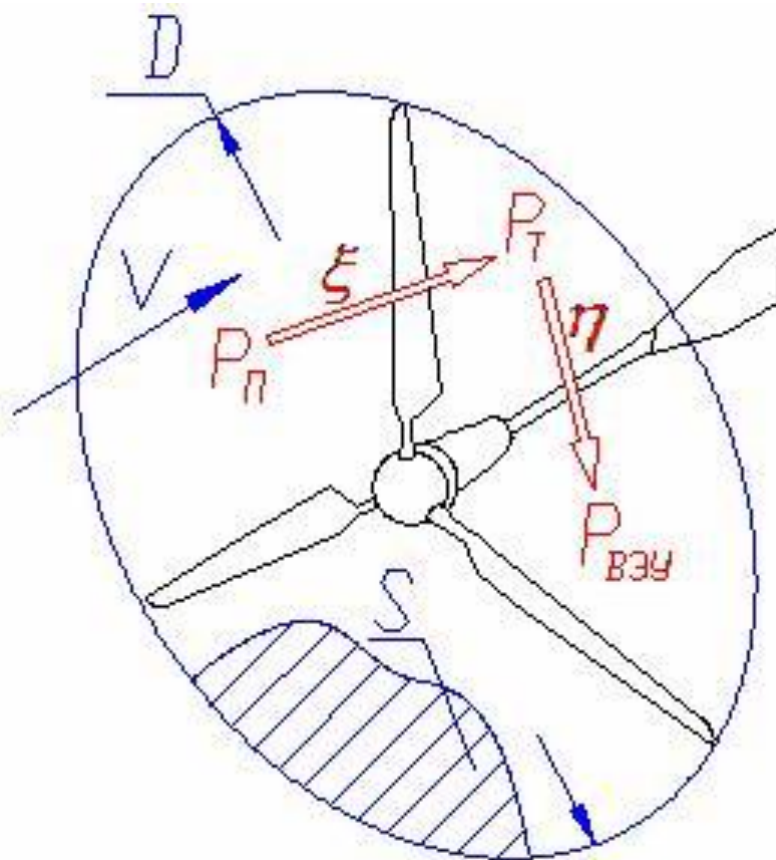


Рисунок 5 - Основні параметри ВЭУ :

P_T - потужність вітротурбіни.

ξ - коефіцієнт вітровикористання. Принципово відрізняється від ККД тим, що "недоотримана" потужність, в основному, не є втратами, а залишається в потоці. По різних теоріях максимальне значення коефіцієнта вітровикористання ідеального пристрою складає 0.59 - 0.68. Це легко зрозуміти, представивши крайню ситуацію, коли у потоку відбирається 100% енергії. У такому разі потік повинен повністю зупинитися, що вже суперечить його наявності. Реальний коефіцієнт вітровикористання добре спроектованої турбіни складає 0,4-0,55;

P_{Π} - потужність вітрового потоку, яка проходить крізь площу, що омітається вітротурбіною, Вт, кВт;

$S = \pi D^2/4$ - омітаєма площа, м²;

$P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність, що розвивається вітроустановкою при розрахунковій швидкості вітру, Вт, кВт;

V - розрахункова швидкість вітру, яку приймають для розрахунку вітрового навантаження на споруди при проектуванні. Залежно від класу споруди враховується швидкість із заданою повторюваністю - 1 раз на рік, в 5, 10, 15, 20, 50 і 100 років, м/с;

D - діаметр вітротурбіни. Відрізок, що сполучає пару найбільш віддалених одна від однієї точок вітротурбіни, проходить через її центр, м

W_M - вироблена енергія, кількість енергії, що виробляється вітротурбіною за певний проміжок часу (місяць, рік); величина, залежна від середньої швидкості вітру кВт.г;

6 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

6.1 Ескізи вітроустановок різних типів.

6.2 Основні технічні характеристики ВЕУ.

6.3 Надати стислий опис принципу дії вітроустановок різних типів.

7 Контрольні питання

1. Що таке вітер та як він виникає?
2. Дайте визначення ВЕУ?
3. Енергія вітру. Перспективи використання?
4. Переваги та недоліки ВЕУ?
5. Яким чином здійснюється перетворення енергії вітру у механічну енергію?
6. Як класифікують ВЕУ за віссю обертання відносно повітряному потоку?
7. Які існують класи вітродвигунів?
8. Як класифікують ВЕУ за потужністю генератора?
9. Основні елементи конструкції ВЕУ?
10. Основні параметри, що характеризують ВЕУ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ВІТРОЕЛЕКТРОАГРЕГАТУ.

1. Мета роботи

Вивчити особливості конструкції та роботу автоматичного реєстратора LOGGTR NRG метеопоста.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися з призначенням та конструкцією метеопоста.

2.4 Ознайомитися технічними параметрами метеопостів.

2.3 Підготувати відповіді на контрольні питання.

3 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

3.1 Ознайомитися з призначенням та конструкцією метеопоста.

3.4 Ознайомитися технічними параметрами метеопостів.

3.3 Підготувати відповіді на контрольні питання.

4 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

4.1 За матеріалом теоретичної частини методичних вказівок до лабораторної роботи ознайомитися з конструкцією та принципом дії метеопосту.

4.2 Надати ескіз метеопосту для проведення дослідження вітрового потенціалу.

4.4 Надати відповіді на контрольні питання.

5 Теоретична частина

Особливістю роботи вітроелектроустановки полягає в тому, що її продуктивність залежить від надходження енергії вітру, а воно носить імовірнісний характер. Даний стан речей вказує на те, що визначальним фактором у виборі місць розташування вітроустановок є наявність у ньому вітрових умов для забезпечення виробництва електроенергії. У зв'язку з цим зростає значення попередніх досліджень параметрів вітрового потоку в місцях розташування об'єктів вітроенергетики. При цьому рекомендується наступна етапність робіт:

- 1 – пропозиції про розміщення інвестиції у визначеному регіоні;
- 2 – попередній вибір площадок розташування об'єктів вітроенергетики у визначеному регіоні;
- 3 – дослідження характеру вітру на намічених площадках, перспективних для будівництва;
- 4 – розробка техніко-економічного обґрунтування інвестицій у будівництво.

Для забезпечення обґрунтованості прийнятих рішень виконуються вимоги нормативних документів, що регламентують порядок виконання етапів робіт, обсяг звітної документації, проведення погоджень, експертизи та її затвердження після завершення кожного етапу. Виконання робіт наступного етапу може здійснюватись лише після затвердження роботи попереднього етапу.

В даній лабораторній роботі необхідно засвоїти положення для виконання третього етапу з вибору місця для розташування вітроустановки.

Виконання метеорологічних досліджень здійснюється на підставі завдань потенційного замовника. При їх проведенні слід керуватися законодавчими та нормативними документами України.

Для виконання метеорологічних досліджень характеристик вітру складають технічне завдання, програму досліджень, кошторисно-договірну документацію та оформляють дозвіл на проведення вишукувальних робіт.

На вибраній площадці організують метеопост, для розміщення якого необхідно мати карту-схему району розміщення площадки з прилеглою територією, кліматологічні дані опорної метеостанції (з довгостроковими спостереженнями). Слід зауважити, що біля метеопосту не повинно бути густої і високої деревної рослинності, споруд, які можуть спотворити природний метеорологічний режим. Окремі дерева, будинки повинні бути розташовані на відстані, що не менше двадцятикратної їх висоти, а в випадку знаходження лісів, груп будівель – не менше сорокакратної їх висоти. Метеомайданчик бажано розташовувати на рівній горизонтальній поверхні, якомога далі від ярів, крутих спусків та пагорбів.

При короткочасних вимірюваннях тривалість періоду збору даних становить 12 місяців. За цей період необхідно зібрати дані не менше ніж 90% часу. Максимальна перерва в зборі даних не повинна перевищувати 7 днів. Вимірювати параметри вітру необхідно на висоті, що відповідає вісі обертання вибраного для розташування вітроагрегату, протягом 12 місяців. Швидкість вітру на висоті 10 м вимірюють протягом двох місяців (бажано в липні та січні). При неможливості забезпечити вимірювання на висоті вісі обертання вітроустановки користуються залежністю, що запропонована Д.Т. Лайхтманом:

$$v = v_1 \frac{\lg \frac{h}{h_0}}{\lg \frac{h_1}{h_0}},$$

де v – шукана швидкість на висоті h ;

v_1 – швидкість вітру, що вимірюється біля Землі на висоті h_1 ;

h_0 – висота, на якій швидкість вітру дорівнює нулю (вона залежить від шорсткості поверхні: для снігового покриття – 0,5см; для поверхні з низькою травою – 3,2см; з більш високими рослинами – 5...7см; $h_{\max}=20$ см).

Облаштування метеопоста виконується згідно з проектом, який розробляється у відповідності з чинними нормативними документами. На постах використовують стандартні метеовежі. На них встановлюють датчики швидкості та напрямку вітру, температури. Для проведення вимірювань використовують ли-

ше такі реєстратори, що можуть забезпечити послідовний збір і збереження даних метеовимірювань стосовно реального часу. При цьому інтервал вибірки даних, що надходить від датчиків, – не більше п'яти секунд, інтервал осереднення та реєстрації при зборі даних про швидкість вітру – одна година, а при визначенні середньоквадратичного відхилення -* не більше 10 хвилин.

Кількість датчиків та реєстраторів для оснащення метеопосту визначається в ході формування програми досліджень для конкретної площадки.

Особливості конструкції та роботи автоматичного реєстратора метеопосту полягає в наступному:

- прилад має 3 канали реєстрації швидкості вітру, 2 канали реєстрації напругу і один додатковий аналоговий вхідний канал;
- стандарт вхідного сигналу: імпульсний сигнал напругою 5 В при стандартному елементі живлення 9 В;
- прилад відрізняється низьким споживанням потужності, що забезпечує безперервну реєстрацію параметрів вітру протягом більш ніж 6 місяців (при використанні двох стандартних лужних батарей напругою 9V);
- інтервал усереднення вибирається користувачем і складає або 10 хвилин, або 60 хвилин;
- місткість елементів пам'яті забезпечує запис даних за період від 4 днів до 681 дня залежно від чіпу запису даних, числа датчиків і усередненого інтервалу, що використовується;
- розмір вільної пам'яті на чіпі визначається в днях;
- прилад розміщено в жорсткий, стійкий до атмосферних дій корпус із скловолокна;
- напругу елементів живлення контролює вбудований вольтметр;
- дані, що записуються, висвічуються на 6-розрядному рідиннокристалічному дисплеї;
- початкові параметри вводяться з клавіатури введення даних;
- надійність роботи приладу гарантується річною гарантією;

- місткість чіпу, на якому зберігаються записані дані, складає 8 КБ або 32 КБ;
- стабільність генератора розгортки визначається кварцовим резонатором, що забезпечує точність $\pm 0.0078\%$, що складає ± 3 хвилини в місяць;
- програмне забезпечення налаштовується користувачем і забезпечує реєстрацію даних в режимі реального часу;
- час початку і закінчення реєстрації даних, дати зупинок роботи приладу, поточна напруга батарей живлення — все це зберігається в пам'яті чіпу паралельно із записом даних;
- номер приладу і обраний користувачем номер ділянки, де встановлено прилад, також зберігаються на чіпі з даними;
- прилад реєструє стандартне відхилення параметру (особливо важливе для вимірювань турбулентних пульсацій швидкості вітру) на кожному входному каналі та для кожного інтервалу осереднення швидкості вітру.

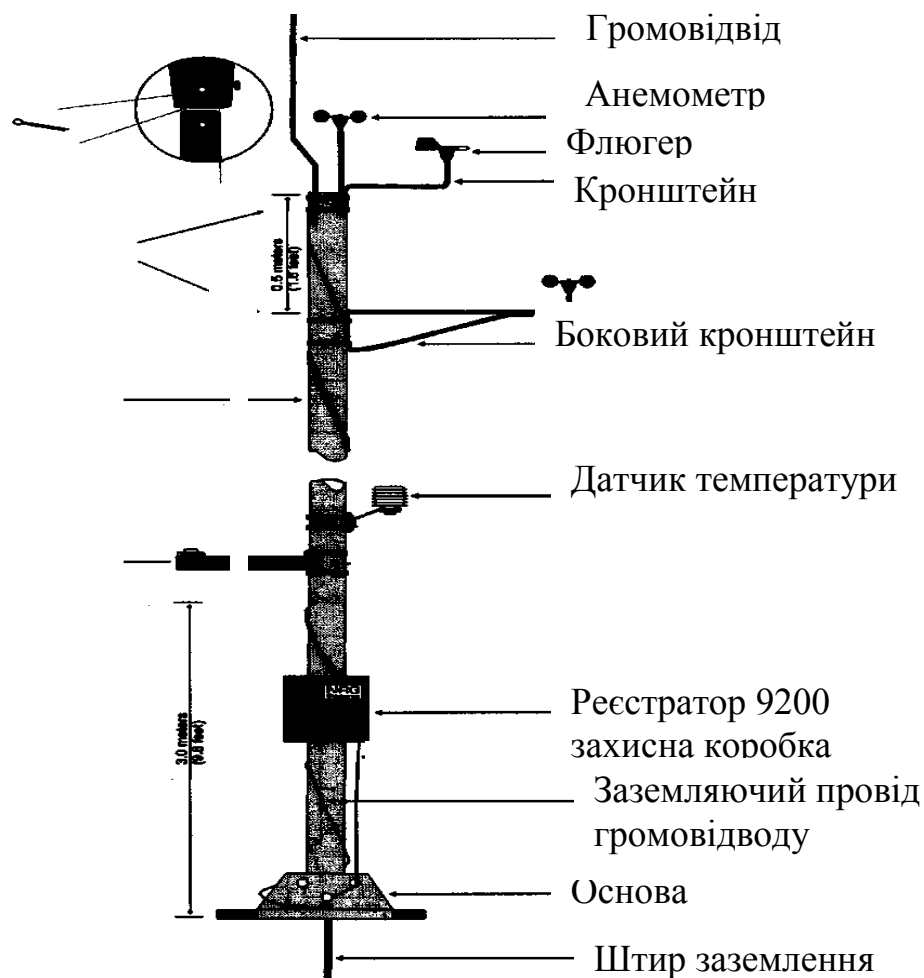


Рисунок 1 – Схема розміщення вимірювальних датчиків

Вимоги до живлення:

Напруга батареї номінал 9 В (5,6 В мінімум).

Нормальний операційний струм не більше, ніж 200 мікроамперів (0,20 міліампер).

Термін служби двох лужних акумуляторів по 9 В більш ніж 6 місяців.

Здійснення вибірки:

– для швидкості вітру: конверсійний час — 2 секунди

Розрізнення — 0,1 миля в годину

Розрізнення дисплея — 1 миля в годину

Точність +1,0 миль в годину

– для напряму вітру: Конверсійний час — 13 мілісекунд

Час вибірки — 2 секунди

Розрізнення — 1,4 градуси

Термін збереження даних:

Термін збереження даних визначається часом осереднення та місткістю чіпу пам'яті, що використовується. Так, при використанні 32 КБ чіпу дані накопичуються протягом 56,7 днів, а в режимі осереднення за інтервалом 60 хв. — 340,7 днів, відповідно.

Метеорологічний реєстратор даних NRG Logger 9200 відповідає всім вимогам до виробів даного типу відповідно до наступних Директив ЄС:

- 89/336/ЄЕС "Директива Ради від 3 травня 1989 з уніфікації законів Держав-членів ЄС відносно електромагнітної сумісності";
- 73/23/ЄЕС "Директива Ради від 19 лютого 1973 з гармонізації законів Держав-членів ЄС стосовно електричного устаткування, призначеного для використання з деяким обмеженням напруги".

Реєстратор даних NRG Logger відповідно до вимог Директив класифікується по наступним параметрам:

- Електромагнітне випромінювання — EN55022:1994 Клас В Електромагнітна стійкість — EN50082-1:1992

6 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

6.1 Надати ескіз метеопосту.

6.2 Надати основні технічні характеристики метеопосту.

6.3 Надати відповіді на контрольні питання

7 Контрольні питання

1. Які вимоги виставляють до організації метеопосту?
2. Яким чином враховується співвідношення висот вимірювання та висоти розташування вісі обертання вітроустановки?
3. Скільки каналів реєстрації швидкості вітру має реєстратор LOGGTR NRG?
4. Яка місткість елементів пам'яті реєстратора LOGGTR NRG?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

КЛАСИФІКАЦІЯ ВІТРОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ЗА ПРИНЦИПОМ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ ВТРУ.

2. Мета роботи

Вивчити особливості конструкції та принцип роботи вітроустановок за принципом перетворення енергії вітру.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися з принципом роботи ВЕУ, що використовують силу швидкісного натиску повітряного потоку.

2.2 Ознайомитися з принципом роботи ВЕУ, що використовують ефект Магнуса.

2.3 Ознайомитися з принципом роботи ВЕУ, що використовують аеродинамічну підйомну силу.

2.4 Підготувати відповіді на контрольні питання.

3 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

3.1 Ознайомитися з принципом роботи ВЕУ різних типів.

3.2 Підготувати відповіді на контрольні питання.

4 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

4.1 За матеріалом теоретичної частини методичних вказівок до лабораторної роботи ознайомитися з конструкцією та принципом дії ВЕУ.

4.2 Надати ескізи ВЕУ, що використовують силу швидкісного натиску повітряного потоку, ефект Магнуса та аеродинамічну підйомну силу.

4.3 Надати відповіді на контрольні питання.

5 Теоретична частина

Перетворення енергоресурсів повітряного потоку (вітру) здійснюється за допомогою вітроенергетичних установок, що перетворюють кінетичну енергію повітряного потоку в механічну енергію.

Потужність вітроенергетичної установки визначається за формулою:

$$N = \xi N, [\text{Вт}] \quad (1)$$

де ξ - коефіцієнт використання енергії вітру;

N - потужність повітряного потоку Вт].

Величина коефіцієнта ξ у найбільш розповсюджених вітроустановках досягає величини 0,45, тоді як теоретична межа за різними літературними джерелами дорівнює 0,593 та 0,687.

Потужність повітряного потоку N визначається за формулою:

$$N = \rho V^3 F / 2, [\text{Вт}] \quad (2)$$

де ρ - щільність повітря (при нормальних умовах $= 1,25 \text{ кг/м}^3$);

V - швидкість незбуреного повітряного потоку, м/с ;

F - площа обмаху поверхні вітроустановки, м^2 .

Величина швидкості вітру V для визначення номінальної потужності вітроустановки вибирається рівною $1,6 V_{\text{ср.р.}}$, де $V_{\text{ср.р.}}$ - середньорічна швидкість вітру в районі розташування вітроустановки (ВУ). Як випливає з (1), потужність вітрового потоку пропорційна кубу швидкості вітру V , тому надзвичайно важливим є вибір місця розташування ВУ з тим, щоб величина $V_{\text{ср.р.}}$ була якомога більша. Для визначення найбільш сприятливих районів установки ВУ проводять анемометрическую розвідку і складають вітрові кадастри. У

Україні такими районами є південний схід країни, Кримський півострів, Західна Україна.

Перетворення кінетичної енергії повітряного потоку у ВУ здійснюється шляхом його взаємодії з робочими органами ВУ, які можуть бути виконані у вигляді:

- а) лопатей (плоских, увігнутих або з аеродинамічним профілем);
- б) циліндрів А.Флетнера;
- в) осцилюючих предметів, наприклад, тросів;
- г) системи з електродними сітками електрогідравлічного динамічного генератора.

Найбільш широке розповсюдженнями робочими органами є лопаті з аеродинамічним профілем. ВУ з робочими органами у вигляді осцилюючих предметів і електрогідравлічного динамічного генератора знаходяться в стадії експериментів. Останні дані свідчать, що такого роду ВУ властиві низький коефіцієнт використання енергії вітру і складності агрегування з навантаженням. Тому надалі аналізуватимуться ВУ з робочими органами, виконаними у вигляді лопатей.

1. Вітроустановки, що використовують силу швидкісного натиску повітряного потоку

При взаємодії повітряного потоку з робочим органом вітроустановки (ВУ) на останній діє сила лобового тиску Q , яка направлена уздовж набігаючого потоку і визначається по формулі

$$Q = C_x W^2 F / 2, \quad [H] \quad (3)$$

де C_x - коефіцієнт лобового тиску робочого органу;

W - відносна швидкість вітру, м/с

$$W = V - V_{p.o.}, \quad \text{м/с} \quad (4)$$

де $V_{p.o.}$ - швидкість руху робочого органу уздовж напрямку потоку, м/с;
 F - площа поверхні обмаху робочого органу, м².

Величина коефіцієнта використання енергії вітру (КВЕВ) в цьому випадку визначається по формулі:

$$\xi = C_x(1 - Z) Z^2 \quad (5)$$

де Z - модуль швидкохідності робочого органу

$$Z = V_{p.o.} / V \quad (6)$$

Аналіз формули (5) показує, що КВЕВ максимальний $Z=1/3$ і формулу (1.5) в цьому випадку можна переписати як:

$$\xi_{\max} = C_x 0,148 \quad (7)$$

Через низьку швидкохідність і низьке значення КВЕВ ВУ карусельного типу не знаходять широкого застосування, їх відрізняє підвищена матеріаломісткість, ненадійність при шквальних посиленнях вітру, для них дотепер не розроблені прості і надійні механізми обмеження частоти обертання, скидання надмірної потужності, аварійного захисту від шквальних посилень вітру. Висока парусність карусельних ВУ робить їх уразливими при сильному вітрі або бурі. Ці причини привели до того, що зразки карусельних ВУ мають потужність, що не перевищує 1 кВт і практично неконкурентоздатні з ВУ, що працюють на підйомній аеродинамічній силі.

Залежність $\xi - f(Z)$, так звана аеродинамічна характеристика такого роду ВУ, представлена на рис. 1. при $C_x = 1$.

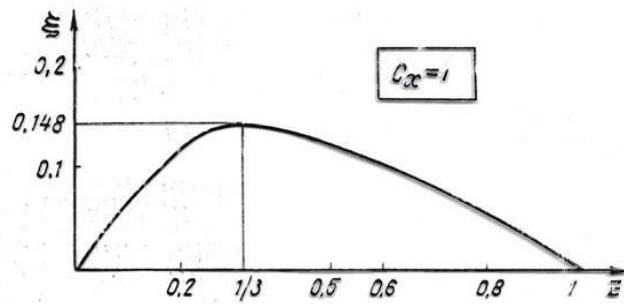
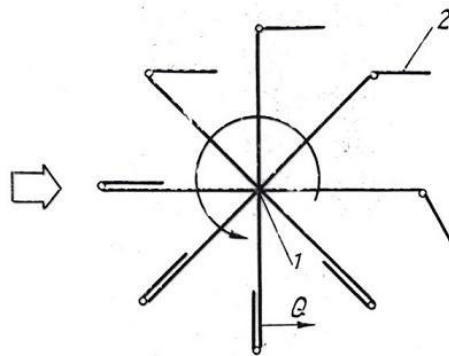


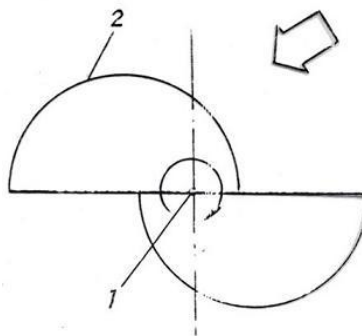
Рисунок 1 – Аеродинамічні характеристики робочого органу ВУ, що використовує силу лобового тиску вітру.

ВЕУ, що використовують силу Q як робоче зусилля, характеризуються тихохідністю і підвищеним пусковим і робочим моментами. Основні конструктивні схеми таких ВУ представлені на рис. 2; 3.



1 – вісь обертання, 2 - лопать

Рисунок 2 – Карусельна ВУ.



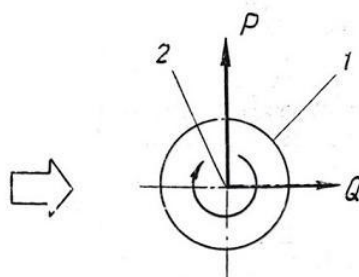
1 – вісь обертання, 2 - лопать

Рисунок 3 – Ротор Савоніуса.

Ці ВЕУ мають вісь обертання, встановлену перпендикулярно набігаючому потоку, як правило, вертикально, що дозволяє відмовитися від механізму

орієнтації на вітер. ВУ (рис. 2) традиційно називаються карусельними, а ВУ (рис. 3) називається ротором Савоніуса. Величина КВЕВ у останнього досягає 0,18, а швидкохідність Z - до 1 (підвищене значення КВЕВ у ротора Савоніуса пояснюється тим, що крім сил лобового тиску Q на лопаті ротора діє також і підйомна сила P і реактивний момент від перетікання повітря в міжлопатевому зазорі). З карусельних ВУ ротор Савоніуса знаходить найбільш широке застосування для вироблення потужностей від 50 до 100 Вт, а також для розкручування швидкохідних низькомоментних вітроколів.

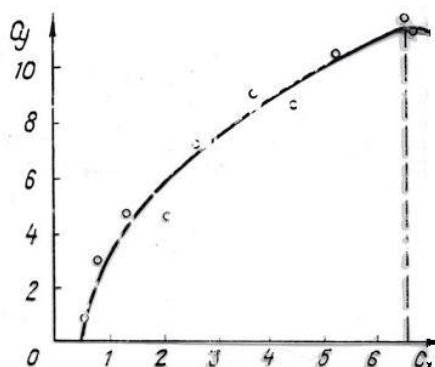
При набіганні вітрового потоку на циліндр що обертається у відповідності з ефектом Магнуса, діє сила перпендикулярна до напрямку потоку (рис.4).



P – підйомна сила, 1 – поверхня циліндра, 2 – вісь обертання

Рисунок 4 – Ефект Мангуса.

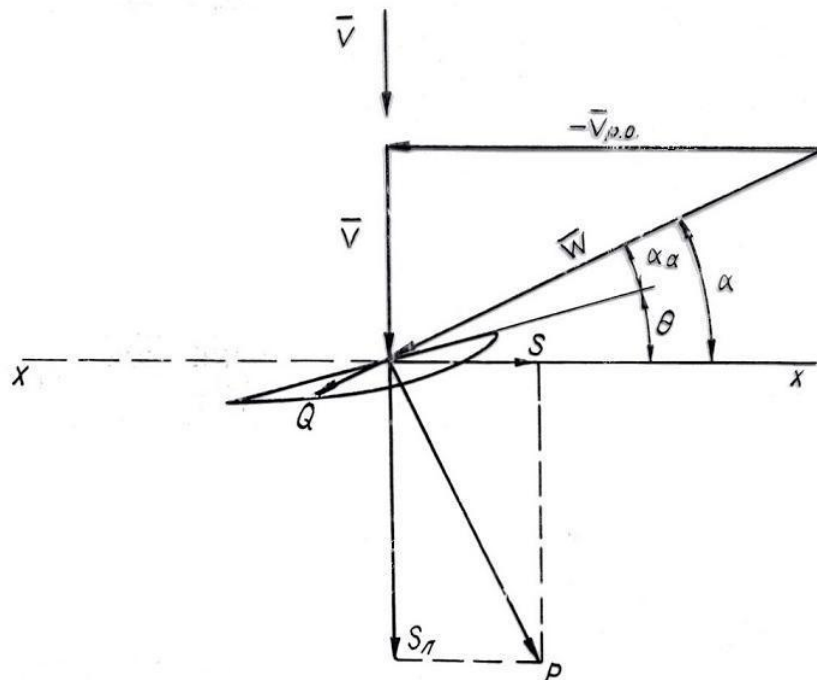
Головним недоліком даного типу вітроустановок є значний лобовий опір, що видно з поляри обертального циліндра (рис. 5). Пристрої з обертальними циліндрами знайшли застосування як вітрила, для приведення до руху суден.



C_x – коефіцієнт підйомної сили, C_y – коефіцієнт лобового тиску

Рисунок 5 – Поляра обертового циліндра.

Вітроустановки, що використовують аеродинамічну підйомну силу P знаходять найбільш широке розповсюдження у вітротехніці. Їх характерною ознакою є наявність лопаті з аеродинамічним профілем, при обдуванні його набігаючим потоком V утворюється підйомна аеродинамічна сила P , складова від якої є тяговим зусиллям S , рухаючим лопать за прямою (або кривою) $x - x$ (рис. 6). Як видно з планів сил і швидкостей (рис. 6), лопать має можливість рухатися швидше набігаючого потоку V , тобто $V_{p.o.} > V$. План швидкостей типовий для швидкохідної лопаті з профілем високої аеродинамічної якості, якщо знехтувати втратами на кручення струменя за траєкторією лопаті і силою лобового опору Q , зважаючи на їх незначну величину. Пряма $x-x$ - це площина обертання горизонтально-осьового вітроколеса, а крива $x-x$ - буде створювати поверхню обмаху вітроколеса типу ротора Дар'є, про що буде сказано нижче.



V – швидкість вітру, V_{po} – швидкість руху лопаті, V – швидкість потоку в площині $x-x$, W – швидкість результуючого потоку, θ – кут установки лопаті, α_a – кут атаки, α – кут підходу потоку W , Q – сила лобового опору, P – підйомна сила, S – сила тяги, S_l – лобовий тиск

Рисунок 6 – План швидкостей та сил, які діють на лопать.

При розрахунку аеродинамічних і робочих характеристик вітроколес по-путно визначають оптимальні значення кутів α_a , θ (рис. 6), оптимальну геометрію лопаті і вітроколеса в цілому, оптимальний аеродинамічний профіль.

У сучасній віротехніці головним чином використовують профілі, зображені на рис. 7, по полярам яких за допомогою різних методик визначають перераховані вище параметри.



а) випуклий (Есперо), б) симетричний (NACA-0016), в) вгнута пластина (парус), г) випукло-вгнутий

Рисунок 7 – Основні типи аеродинамічних профілей.

Як впливає з літературних даних, критерієм вибору профілю є максимальна величина C_y/K^2 , де K - аеродинамічна якість лопаті, $K=C_y/C_x$. Цим умовам найбільш відповідають вартмановські профілі серії FX, аеродинамічна якість яких досягає 170. Відсутня однозначна залежність швидкохідності ротора вітроустановки від числа лопатей, що відповідає оптимальній швидкохідній $Z_{opt} = 4K/9$, а також оптимальній величині коефіцієнта заповнення поверхні обмаху $\sigma = 13,5/C_y K^2$, де $\sigma = ic/2\pi R$ (для горизонтально-осьових ВУ)

i – число лопатей;

c – хорда лопаті;

R – радіус розташування даного елемента лопаті.

Для досягнення максимального КВЕВ лопаті вітроколеса повинні мати нелінійну двусторонню гвинтову крутку і змінну хорду вздовж довжини лопаті. Основні положення методики підтверджені експериментально.

6 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

6.1 Надати ескіз та опис ВЕУ, що використовують силу швидкісного натиску повітряного потоку.

6.2 Надати ескіз та опис ВЕУ, що використовують ефект Магнуса.

6.3 Надати ескіз та опис ВЕУ, що використовують аеродинамічну підйомну силу

6.4 Надати відповіді на контрольні питання

7 Контрольні питання

5. Які вимоги виставляють до організації метеопосту?

6. Яким чином враховується співвідношення висот вимірювання та висоти розташування вісі обертання вітроустановки?

7. Скільки каналів реєстрації швидкості вітру має реєстратор LOGGTR NRG?

8. Яка місткість елементів пам'яті реєстратора LOGGTR NRG?

Список літератури

1. Правила устройства электроустановок. – Х.: Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2007. – 416с.
2. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства: (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений) / И.А. Будзко, Н.М. Зуль. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
3. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства: (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений)/И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
4. Притака І.П. Електропостачання сільського господарства – 2-е вид. перероб. та доп./І.П. Притака. - К.: Вища школа. Головне вид-во, 1983.– 343с.
5. Притака І.П. Електропостачання сільського господарства / І.П. Притака, В.В. Козирський. – К.: Урожай, 1995.– 304с.
6. Єрмолаєв С.О. Проектування систем електропостачання в АПК/ С.О. Єрмолаєв, В.Ф. Яковлев, В.О. Мунтян та ін. – Мелітополь: Люкс, 2009. – 568 с.
7. Практикум по електрообладженню сільського господарства /под ред. И.А. Будзко. – М.: Колос, 1982. – 319с.
8. Каганов И. Л. Курсовое и дипломное проектирование/И.Л. Каганов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351с.
9. Харкута К.С. Практикум по электрообладженню сельского хозяйства: (Учебники и учеб. пособия для учащихся техникумов)/К.С. Харкута, С.В. Яницкий, Э.В. Ляш. – М.: Агропромиздат, 1992. – 223с.
10. ГКД 341.003.003.006-2000 Площадки для вітрових електростанцій. Метеорологічні дослідження характеристик вітру. –К: 2001. –с.30.
11. . Кудря С.О., Головка В.М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб.– Київ: “НТУУ «КПІ», 2011. –136с.

