

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу

## **"СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ"**

*(для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання, та слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології», 0906 – «Електротехніка» зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

**Харків ХНАМГ 2012**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ** до виконання лабораторних робіт з курсу **"СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ"** (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання, та слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології»), 0906 – «Електротехніка» зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Ю. П. Кравченко, О. В. Саприка; – Х. : ХНАМГ, 2012. – 48 с.

Укладачі: Ю. П. Кравченко, О. В. Саприка

Рецензент: к.т.н., доц.. П. П. Рожков

Рекомендовано кафедрою електропостачання міст,  
протокол № 6 від 1.03.2012р.



## **ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

**⚠** До виконання лабораторних робіт студенти допускаються після інструктажу з техніки електричної та протипожежної безпеки у лабораторії, про що обов'язково робиться відповідний запис до журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

**⚠** Напруги на доступних для дотику виводах лабораторного устаткування 380/220 В напруги змінного струму, при виконанні робіт не слід доторкатися одночасно до двох одиниць устаткування або приладів, а також до труб центрального опалення та використовувати у якості указок струмопровідні предмети (у т. ч. опівці з графітовим стрижнем).

**⚠** Забороняється розміщувати на робочих місцях одяг та інші особисті речі, що не використовуються для роботи.

**⚠** Забороняється без дозволу викладача переміщуватись на інші робочі місця, покидати робочі місця та межі лабораторії.

**⚠** При виявленні несправності устаткування та вимірювальних приладів або відхилень у їхній роботі, їх необхідно знеструмити і повідомити про це викладачеві.

**⚠** У разі виникнення нещасного випадку необхідно вимкнути живлення лабораторії, надати потерпілому першу допомогу, негайно сповістити викладача.

**⚠** У разі виникнення загоряння у лабораторії необхідно вимкнути живлення лабораторії та загасити полум'я вогнегасником, негайно сповістити викладача.

**⚠** Після закінчення виконання робіт необхідно вимкнути живлення устаткування та вимірювальних приладів, навести лад на робочому місці, сповістити викладача.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мета методичних вказівок - надати допомогу студентам у виконанні і захисті лабораторних робіт, у процесі яких вони знайомляться з конструкціями, вивчають принципи дії і досліджують характеристики найбільш розповсюджених електроприймачів:

- ферорезонансних стабілізаторів напруги;
- освітлювальних приладів з розрядними лампами;
- силових трансформаторів;
- побутових холодильників і кондиціонерів;

У лабораторних роботах вивчаються також особливості вищенаведених електроприладів як навантаження електричної мережі, способи і схеми захисту від аварійних ситуацій та їх вплив на якість електричної енергії.

Виконувати роботу студенти можуть тільки після:

- ознайомлення із порядком виконання;
- ознайомлення із схемою лабораторної установки;
- визначення параметрів вимірювальних приладів;
- підготовки таблиць для занесення показників вимірювальних приладів;
- отримання консультації і дозволу викладача.

Перед зборкою електричної схеми установки необхідно переконатися, що вмикачі, що подають напругу, відключені. Збірка електричних ланцюгів установки, перевірка правильності всіх з'єднань виконуються за електричною схемою.

При виконанні експериментальної частини роботи повинні виконуватися наступні правила безпеки:

- забороняється торкатися відкритих струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- зміни в електричній схемі варто робити тільки після відключення установки від джерела живлення ;
- при виникненні несправності в приладах і устаткуванні негайно відключити всю схему від джерела живлення і повідомити про те, що трапилось, керівника;
- після закінчення роботи необхідно відключити установку;
- забороняється залишати без нагляду лабораторну установку під напругою.

Результати вимірів, отримані під час дослідів, студенти заносять у таблиці спостережень, а потім будують по ним графіки.

Повністю закінчений і оформлений звіт студент надає викладачу на наступному лабораторному занятті. Звіт повинний містити: короткий опис роботи; технічні дані досліджуваних пристроїв, використаних приладів і апаратів; електричну схему установки; таблиці з результатами вимірів і розрахунків, побудовані графіки отриманих залежностей; загальні висновки по роботі.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСНОГО СТАБІЛІЗАТОРА З ОБ'ЄДНАНОЮ МАГНІТНОЮ СИСТЕМОЮ

### **Мета роботи:**

- вивчити будову ферорезонансного стабілізатора, принцип його дії, достоїнства і недоліки;
- зняти статичні характеристики стабілізатора, визначити значення коефіцієнтів стабілізації по напрузі;
- дослідити навантажувальні режими стабілізатора з визначенням залежностей коефіцієнта потужності, ККД установки і споживаної реактивної потужності при зміні вхідної напруги.

-

### **Короткі теоретичні відомості**

Стабілізатор це пристрій призначений для забезпечення показників якості мережі живлення. Порівняння стабілізаторів можливо за показниками, які характеризують їх роботу.

1. Робоча область стабілізації по вхідній напрузі. Ця область задається крайніми значеннями вхідної напруги, або вказують у відсотках відхилення від номінальної напруги.

2. Коефіцієнт стабілізації в робочій області вхідної напруги. Коефіцієнт стабілізації може бути в межах від 20 до 200.

3. Чутливість стабілізатора до величини навантаження. Визначається як відношення зміни вихідної напруги до вихідного струму. Чим менше відношення, тим менше залежить напруга стабілізатора від навантаження.

4. Залежність вихідної напруги від характеру навантаження (коефіцієнту навантаження). Зазвичай при індуктивному навантаженні вихідна напруга зменшується, при ємнісному – збільшується.

5. Залежність вихідної напруги від зміни частоти мережі живлення.

6. Залежність вихідної напруги від температури. При зміні температури навколишнього повітря від -40 до +60 °С вихідна напруга може змінитися на  $\pm 1\%$ .

7. Витрати активних матеріалів на одиницю навантаження. Питомі витрати мало залежать від типу стабілізатора, більше від використаних матеріалів і конденсаторів, зменшуються із збільшенням потужності. Витрати активних матеріалів на одиницю потужності знаходиться в межах від 5 до 20 кг/кВт.

Стабілізатори напруги бувають з ферорезонансом напруг або струмів. Стабілізатори з ферорезонансом напруг прості по конструкції та використовуються для вимірювальних ланцюгів та приладів. Виготовляються на потужність до десятків ватт.

Стабілізатори напруги з ферорезонансом струмів конструктивно можуть бути з окремою магнітною системою (насичуваний та лінійний

дроселі, магнітно незалежні) і з об'єднанням магнітною системою (насичуваний та лінійний дроселі мають єдиний магніто провід).

Стабілізатори з окремою магнітною системою мають особливості:

1. Простота конструкції магнітної системи, дозволяє використовувати стандартні штамповані пластини.

2. Можливість використання високоякісних магнітних матеріалів і тороїдальних магніто проводів.

3. Мають більший коефіцієнт стабілізації, більший діапазон стабілізації та менш чутливі до зміни частоти мережі.

4. Більші витрати активних матеріалів при виготовленні стабілізатора з окремими ланцюгами живлення та навантаження.

5. При компенсації напруги пропорційно напрузі мережі вимагають додатково компенсаційний трансформатор.

Стабілізатори з об'єднанням магнітною системою мають особливості:

1. Компактність і відносно менші витрати активних матеріалів.

2. Легкість електричного розподілу ланцюгів живлення та навантаження.

3. Можливість переключення первинної обмотки на різні напруги живлення.

4. Можливість використання любого способу компенсації без впливу на розміри та вагу.

5. Використовуються спеціальні штамповані пластини.

6. Неможливість (або обмежена можливість) використання високоякісних магнітних матеріалів.

7. Мають менший коефіцієнт стабілізації та менший діапазон стабілізації, а також більш чутливі до зміни частоти мережі.

Ферорезонансні стабілізатори напруги потужністю до 1кВт широко використовуються для забезпечення одного з показників якості напруги для живлення споживачів, наприклад телевізійних приймачів, освітлювальних приладів малоповерхової забудови, відповідальних вузлів обчислювальних машин і засобів автоматизації. Нормальна робота стабілізатора можлива тільки у випадку коли опір навантаження значно більший від опору дроселя, який насичується.

Для вивчення принципу дії і характеристик стабілізатора розглянемо його найпростішу схему з ферорезонансом струмів (рис.1.1). Дросель  $L1$  характеризується постійною індуктивністю  $L1 = const$ , тому його вольт-амперна характеристика для діючих значень (ВАХДЗ)  $U_1(I)$ , що приведена на рис.1.1, лінійна. Дросель  $L2$  - що насичується, тому його ВАХДЗ  $U_2(I_1)$  нелінійна. ВАХДЗ конденсатора  $U_2(I_c)$  лінійна.

Результуюча ВАХДЗ рівнобіжного контуру  $U_2(I)$  будується з урахуванням першого закону Кірхгофа:

$$I = I_L - I_C |_{U_2=const} \quad (1.1)$$

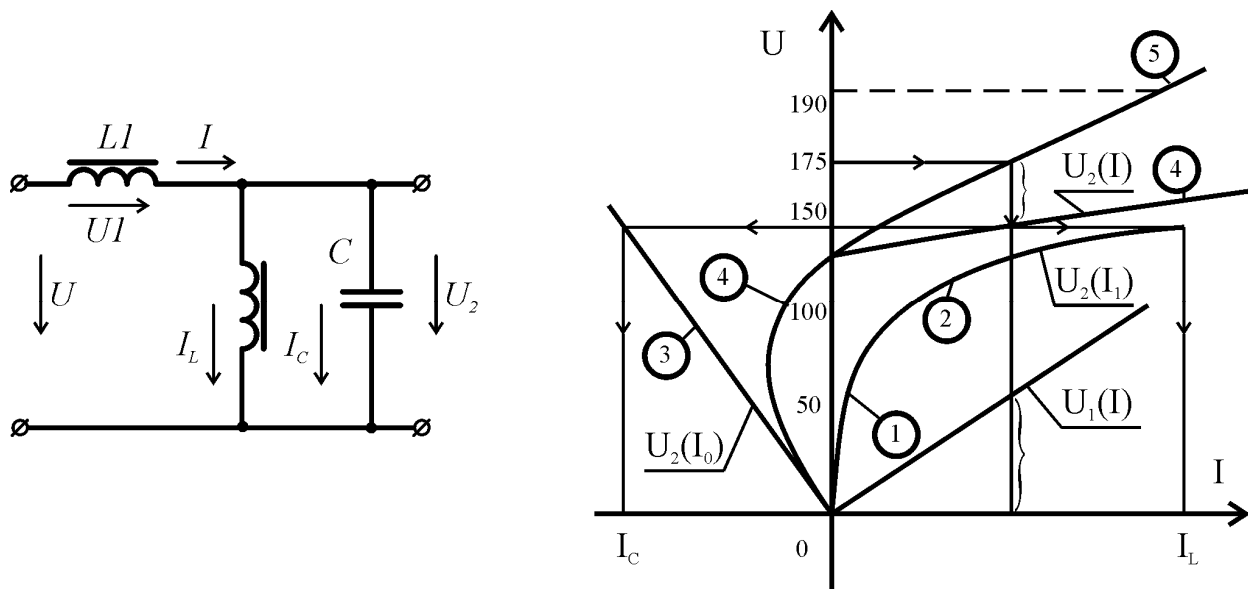


Рис. 1.1- Найпростіша схема стабілізатора та ВАХДЗ

Вхідна ВАХДЗ не враховує вплив струму навантаження і будується на підставі другого закону Кірхгофа:

$$U = U_1 - U_2 \Big|_{I = \text{const}} \quad (1.2)$$

Аналіз ВАХДЗ дозволяє визначити основні недоліки стабілізатора, а також кількісні характеристики, наприклад коефіцієнт стабілізації напруги

$$k_H = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вух}}} \Big|_{I_{\text{вух}} = \text{const}} \quad (1.3)$$

Для характеристик рис.1.1 коефіцієнт стабілізації

$$k_H = \frac{100}{20} = 5,$$

де  $\Delta U_{\text{вх}} = 225 - 125 = 100$  – зміна вхідної напруги, визначена за характеристикою 5;

$\Delta U_{\text{вух}} = 20$  В - зміна вихідної напруги, визначена за характеристикою 4.

Основні недоліки стабілізатора, виконаного по рис.1.1, вихідна напруга менше мінімальної величини вхідної:

$$U_{\text{вух.н}} < U_{\text{вх.мін}}.$$

Струм у дроселі насичення  $I_L$  значно перевищує струм  $I_C$ , споживаний з мережі. Конденсатор  $C$  компенсує частину реактивної потужності, споживаної дроселем  $L_2$ , поліпшуючи коефіцієнт потужності.

У даній роботі досліджується стабілізатор з об'єднаною магнітною системою, показаної на рис.1.2.

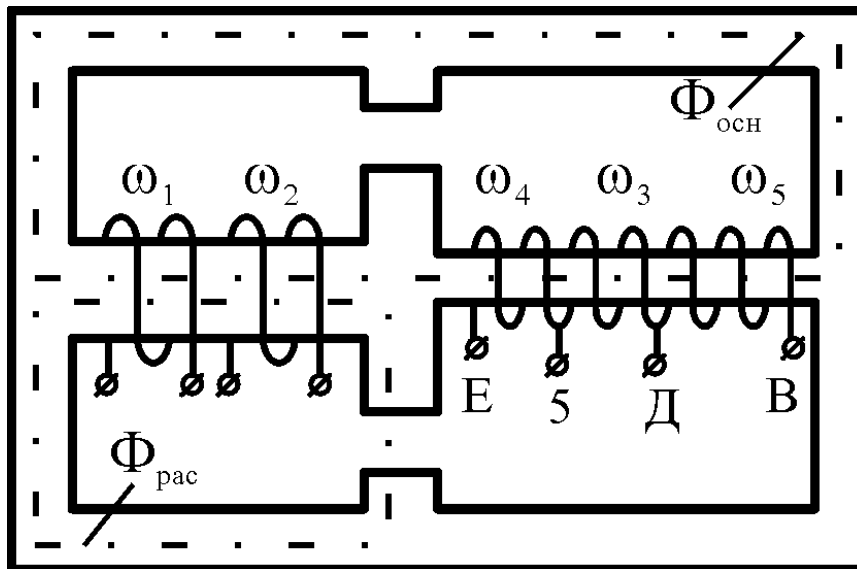


Рис.1.2 - Магнітна система стабілізатора

Роль лінійної індуктивності  $L_1$  в ній виконує опір розсіювання первинної обмотки  $\omega_1$ , магнітна система якої не насичується за рахунок контуру потоку розсіювання  $\Phi_{рас}$ . Нелінійний дросель  $L_2$  виконаний на обмотках  $\omega_3, \omega_4$  і  $\omega_5$  магнітний контур яких насичується, тому що перетин середнього стрижня цієї обмотки значно менше, ніж обмотки  $\omega_1$ . Обмотка  $\omega_5$  служить для настроювання резонансу струмів у контурі  $\omega_3 \omega_4 \omega_5$  (рис.1.3).

Обмотка  $\omega_4$  збільшує індуктивність резонансного контуру, що дозволяє зменшити величину ємності конденсатора  $C$ . Напруга обмотки  $\omega_2$ , пропорційна зміні вхідної напруги, віднімається з вихідної. Здійснюється зворотний зв'язок по збурюванню, що дозволяє при меншому насиченні збільшити коефіцієнт стабілізації.

В насиченому дроселі зсув фаз між першими гармоніками струму та напруги близько  $90^\circ$ , його реактивна потужність у багато разів більша ніж активна, цьому ККД ферорезонансних стабілізаторів може доходити до  $0,7 - 0,8$ .

Вже при малих значеннях вхідної напруги настає резонанс у контурі, що приводить до виникнення великих напруг, обмежених активним опором дроселя та ємності. При деякій напрузі на ємності дросель насичується та починає споживати великий намагнічуваючий струм. Після чого напруга на ємності обмежується насиченим дроселем і змінюється значно повільніше, ніж вхідна напруга.

Стрибокподібна зміна напруги та струму типове для ферорезонансних стабілізаторів і не представляє якій-небудь небезпеки, якщо вони відбуваються при значеннях вхідної напруги, яка нижче робочої області. Після стрибка встановлюється нормальний режим роботи стабілізатора.



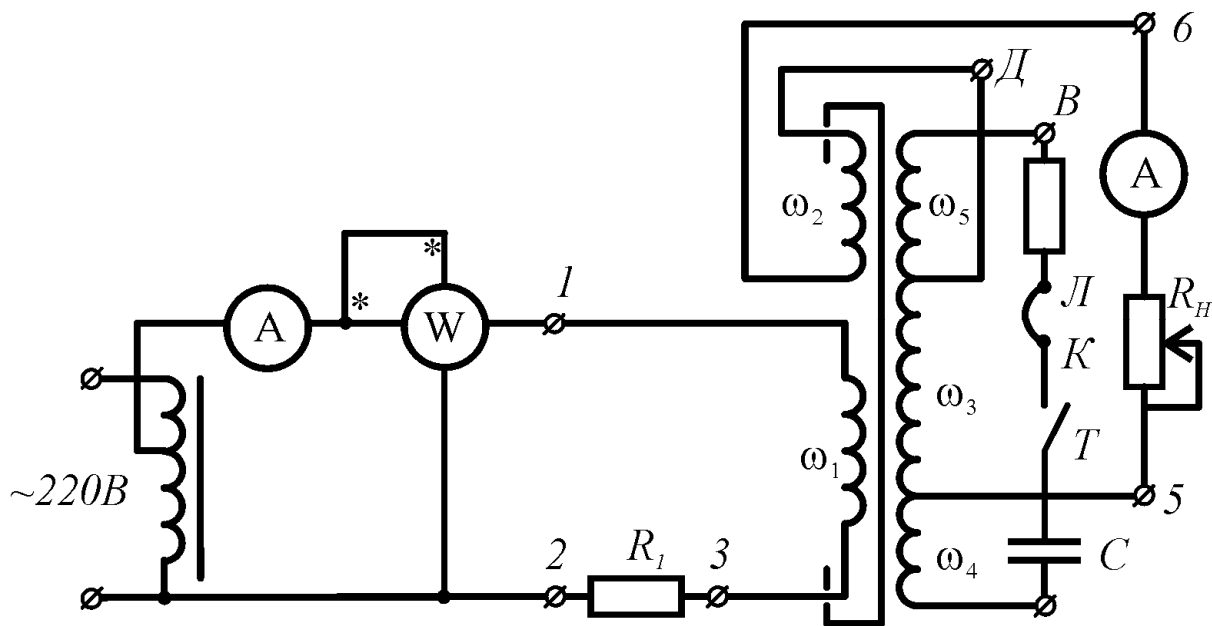


Рис. 1.3 Електрична схема стенда

Маючи великий опір завдяки резонансу для основної гармоніки, контур  $\omega_5$ ,  $C$ ,  $\omega_4$  виконує роль фільтра вищих гармонік, тому що його опір різко зменшується зі зростанням частоти.

Ферорезонансні стабілізатори легко переносять коротке замикання у ланцюгу навантаження.

### Опис лабораторної установки

Схема стенда для дослідження стабілізатора приведена на рис.1.3, де лабораторний автотрансформатор ЛАТР служить для зміни вхідної напруги стабілізатора. Малі опори  $R_1$  і  $R_2$ , що не впливають на режим стабілізатора, призначені для зняття осцилограм струмів. Перемички між вузлами Л і К дозволяють вимірювати струм конденсатора, вимикач Т - відключити конденсатор.  $R_H$  - навантажувальний реостат. Номінальні дані стабілізатора:

$$U_H 220V; S_H = 160VA$$

### Вказівки до виконання роботи

Ознайомитися з устаткуванням стенда.

Зібрати вимірювальні ланцюги схеми (рис.1.3) і вимірити величини, зазначені в табл.1.1. Номінальний струм визначається за номінальними даними стабілізатора.

Дослідити режими вузлів стабілізатора, зробивши виміри відповідно до табл.1.2. Перед кожним виміром установлювати межу вольтметра на 600 В. Пояснити результати. Перевірити виконання другого закону Кірхгофа.

Таблиця 1.1 Дослідження зовнішніх характеристик стабілізатора

| Установлено                      | Виміряні     |               |              |               |               | Обчислені     |                |                |                       |               |              |
|----------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------|---------------|--------------|
| $U_{вх}$ при номінальному струмі | $U_{вх}$ , В | $U_{вих}$ , В | $I_{вх}$ , А | $I_{вих}$ , А | $P_{вх}$ , Вт | $S_{вх}$ , ВА | $Q_{вх}$ , Вар | $P_{вих}$ , Вт | $\cos \varphi$ , в.о. | $\eta$ , в.о. | $k_c$ , в.о. |
| 160                              |              |               |              |               |               |               |                |                |                       |               |              |
| 180                              |              |               |              |               |               |               |                |                |                       |               |              |
| 200                              |              |               |              |               |               |               |                |                |                       |               |              |
| 220                              |              |               |              |               |               |               |                |                |                       |               |              |
| 240                              |              |               |              |               |               |               |                |                |                       |               |              |

Таблиця 1.2 Дослідження режимів вузлів стабілізатора

| Режим  | $U_{12}$ , В | $U_{56}$ , В | $U_{D5}$ , В | $U_{D6}$ , В | $U_{DB}$ , В | $U_{E5}$ , В | $U_{BE}$ , В |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | Ват          |              |              |              |              |              |              |
| Т включений<br>$U_{вх}=220$ В<br>$I_{вих} = I_{ном}$ |              |              |              |              |              |              |              |
| Т включений<br>$U_{вх}=170$ В<br>$I_{вих} = I_{ном}$ |              |              |              |              |              |              |              |
| Т відключений<br>$U_{вх}=220$ В                      |              |              |              |              |              |              |              |

### Оформлення звіту

У звіті навести схему установки для дослідження стабілізатора (рис.1.3), табл.1.1 і 1.2, за даними обчислень побудувати залежності  $\cos \varphi = f(U_{вх})$  і  $\eta = f(U_{вх})$ . Проаналізувати результати табл.1.2, вказавши величини напруг по рис.1.3.

У конспекті лекцій привести схеми, дані на рис.1.1 і 1.2, з поясненням принципу дії стабілізатора.

### Контрольні питання

1. Призначення лінійного дроселя.
2. Призначення дроселя, що насичується.
3. Для чого призначається конденсатор?
4. Чи може напруга  $U_2$  (рис.1.1) бути більше, ніж  $U$ ?
5. Чому при відключенні конденсатора на рис.1.3 напруга  $U_{BE}$  зменшується?
6. Як впливає зворотний зв'язок по збурюванню на коефіцієнт стабілізації?

7. Для чого потрібний магнітний шунт у стабілізаторі?
8. Чому стабілізатор генерує в мережу вищі гармоніки?
9. Перерахуйте характеристики стабілізатора.
10. Який ККД може бути у ферорезонансних стабілізаторів?
11. Які магнітні системи мають ферорезонансні стабілізатори?
12. Перерахуйте переваги та недоліки ферорезонансних стабілізаторів з різними магнітними системами.
13. Як впливає на роботу ферорезонансного стабілізатора коротке замикання у навантаженні?
14. Як впливає на роботу ферорезонансного стабілізатора стрибкоподібна зміна вихідної напруги?
15. Які бувають стабілізатори?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ І ЕЛЕКТРИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ПОБУТОВИХ КОНДИЦІОНЕРІВ**

#### **Мета роботи:**

- вивчити теплові насоси;
- ознайомиться з електроустаткуванням кондиціонерів;
- дослідити роботу однофазного асинхронного двигуна.

#### **Короткі теоретичні зведення**

У теплових насосах (ТН) використовується або принцип Кельвіна (компресійні і абсорбційні ТН), або ефект Пельтьє (напівпровідникові ТН). У них електроенергія витрачається на передачу тепла від менш до більш нагрітого тіла. Кількість виділеної в приміщенні теплової енергії може перевищувати кількість витраченої електроенергії, що і визначає високу ефективність ТН.

Принцип Кельвіна полягає в тому, що при випарюванні рідину залишають більш швидкі молекули і її температура знижується, а при конденсації в рідину попадають більш швидкі молекули і температура підвищується. Можна створити умови (наприклад, підбором холодоагенту і регулюванням тиску), при яких тепло відбирається у більш холодного середовища (низький тиск і випар) і передається більш нагрітої (високий тиск і конденсація).

Термоелектричний ефект Пельтьє полягає в тому, що при протіканні струму в ланцюзі провідників з різних матеріалів у місцях контактів, додатково до Джоулевого тепла (нагрів контактів), виділяється або поглинається в залежності від напрямку струму деяка кількість тепла,

пропорційна величині струму.

Слід зазначити властиву всім ТН оборотність процесу нагрівання-охолодження, що створює їм великі перспективи.

У побутових кондиціонерах і 90 % побутових холодильниках, що випускаються, використовується компресійний ТН, схема якого показана на рис.2.1.

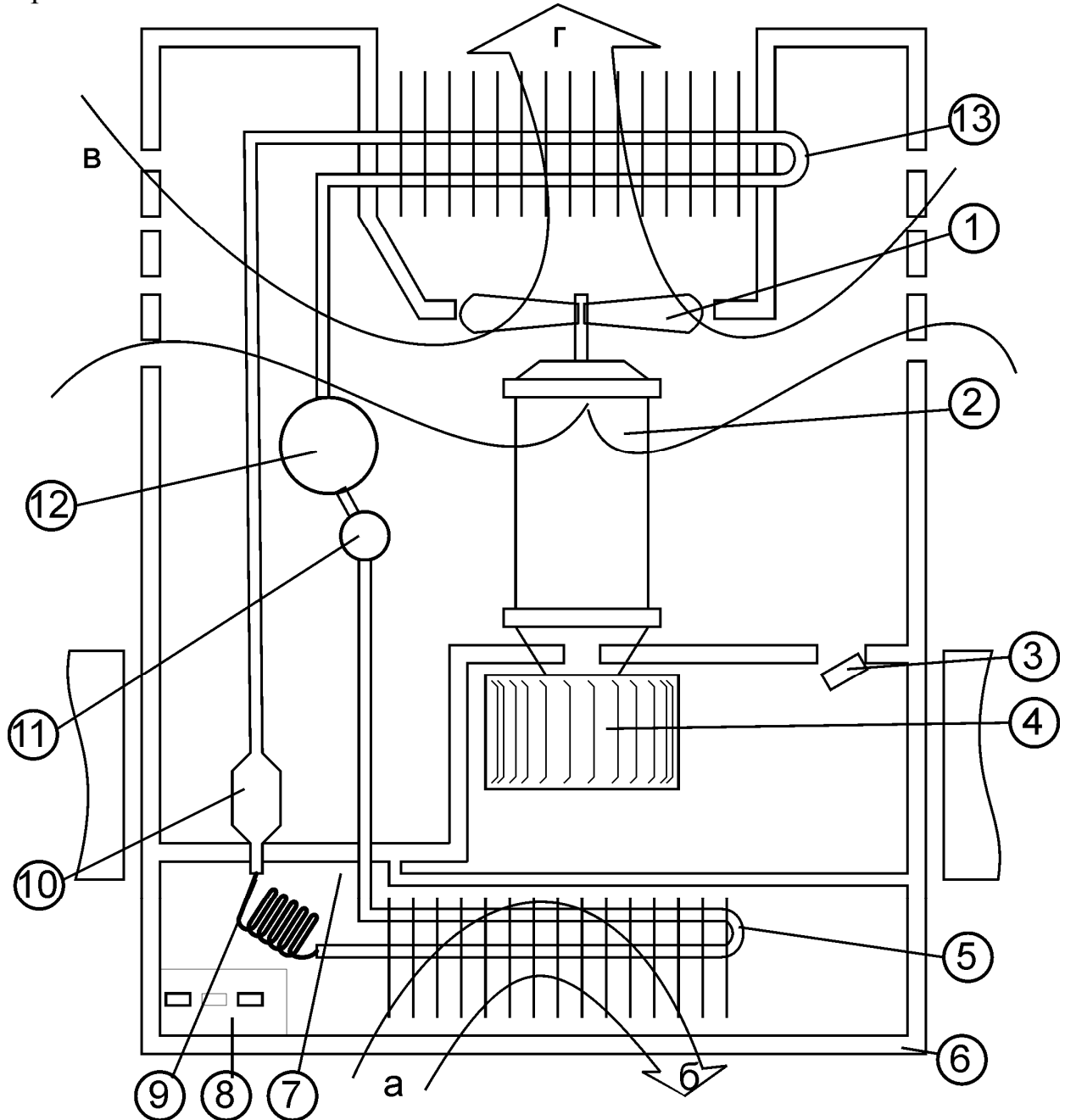


Рис. 2.1- Компресійний тепловий насос

Усі вузли кондиціонера змонтовані на металевій підставі. Металевою перегородкою, привареної до підстави, кондиціонер розділяється на два ізольованих відсіки: зовнішній і внутрішній. На перегородці передбачений отвір, що перекривається заслінкою 3, за допомогою якої регулюють приплив до 15 % зовнішнього повітря.

Основними робочими вузлами кондиціонера є холодильний агрегат; вентилятори (осьовий) і відцентровий із загальним електродвигуном, що має дві швидкості обертання; пульт керування з пускозахисним пристроєм.

Холодильний агрегат призначений для одержання холоду і складається з ротаційного компресора 12, конденсатора 13, випарника 5, осушувача 10, розширника 11 і трубопроводів, що утворюють герметично замкнуту систему.

Осьовий вентилятор 1 з електродвигуном 2, встановленим у зовнішньому відсіку, призначений для охолодження конденсатора 13 зовнішнім повітрям, засмоктуваним через ґрати в бічних стінках корпусу.

Відцентровий вентилятор 4, установлений у внутрішньому відсіку кондиціонера, служить для засмоктування повітря з приміщення через ґратчасту частину декоративної панелі, повітряний фільтр 6, випарник 5, а також для нагнітання охолодженого й очищеного від пилу повітря в приміщення через поворотні ґрати.

Електродвигун вентиляторів включається при пуску компресора, однак він може бути також включений у режим вентиляції і при відключеній холодильній системі.

Пульт керування 8 з пускозахисним пристроєм призначений для пуску, зупинки і керування роботою кондиціонера, установлення бажаної температури в приміщенні і її автоматичній підтримці, а також для забезпечення захисту двигуна компресора від перевантаження. На лицьовій стороні пульта змонтована панель із трьома ручками для керування роботою кондиціонера.

У країні щорічно виробляється близько 7 млн. побутових холодильників і кондиціонерів (ПХК). Потужність холодильника (200-300 Вт) і кондиціонера БК-1500 (900 Вт) незначна, однак частка споживаної ними електроенергії складає значну величину.

Споживана ПХК електроенергія залежить від типу приладу і від режиму його експлуатації. Наприклад, в абсорбційних холодильниках, що мають велику інерційність виходу на режим, відсутнє регулювання температури. Вони не відключаються і тому споживають значно більше електроенергії, чим компресійні ПХК, що працюють у повторно-короткочасному режимі.

Розглянемо типovu для компресійних теплових насосів електричну схему побутового кондиціонера БК-1500, приведену на рис.2.2.

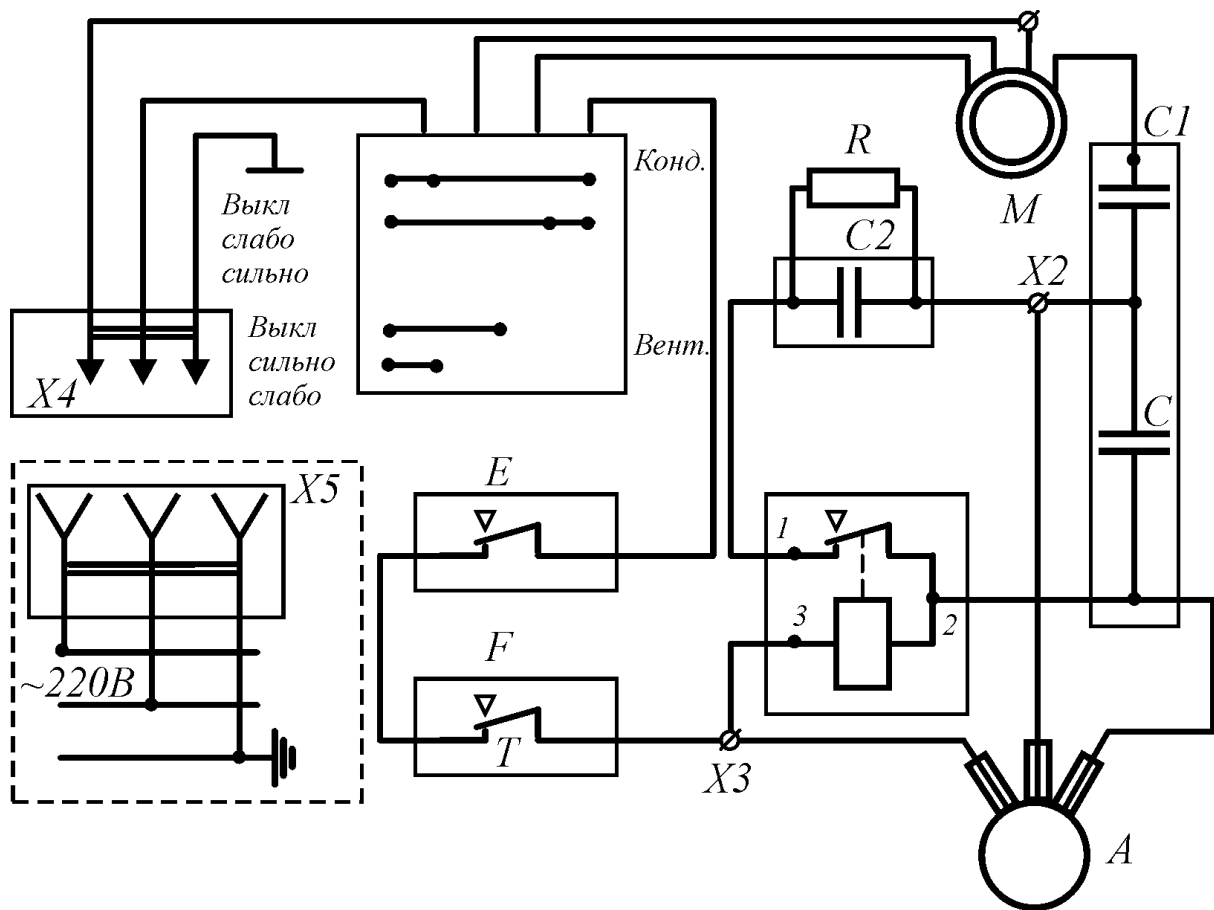


Рис.2.2 - Схема побутового кондиціонера БК-1500

Побутовий кондиціонер по типі захисту від поразки електричним струмом відноситься до електроприладів 1 класу, тому з'єднується з електричною мережею знімним гнучким шнуром із заземлюючим проводом і штепсельною вилкою X4 з контактом, що заземлює. Заземлюючий провід з'єднаний усередині БК із усіма частинами, доступними для дотику, відділених основною ізоляцією від частин, що знаходяться під напругою.

На електричній схемі БК позначені наступні елементи:

M - двигун вентилятора типу ДАК71-40-1, 0-У2, двошвидкісний, з робочим конденсатором, що не відключається, C1;

A - компресор типу ГрВ1,75 з асинхронним конденсаторним АД;

C і C1 - робочі конденсатори типу БКС-250/400-30/3, 3Т з ємностями C = 30 мкФ АД компресора і C1 - 3,3 мкФ АД вентилятора;

C2 - конденсатор пусковий, що відключається, типу К60-19-320В-60мкФ ± 20 %;

K - реле напруги типу РНК-1У3, 240 В, котушка якого включена паралельно конденсаторній обмотці АД компресора і відключає C2 як тільки зростає напруга на конденсаторній обмотці (що відбувається після запуску і виходу на номінальний режим);

F - реле температурно-токове, тип ТТЧ-1У3, встановлено на АД компресора, його контакт F здійснює захист від перевантаження або порушення функціонування і перегріву АД ;

Е - реле температури типу Т178Б, парорідинне термореле, капілярна трубка якого з хладоном 9 розташована на випарнику (рис.2.1); контакт термореле Е, показаний на електричній схемі, відключає АД компресора після охолодження радіатора випарника відповідно до встановленого режиму; ручка термореле виведена на пульт керування 8 і дозволяє регулювати температуру приміщення;

П - перемикач режиму; при положенні кондиціонування "сильно" двигун М вентилятора включається на максимальні обороти.

В стенді лабораторної установки використано однофазний електричний двигун. Умови роботи якого відрізняються від більш поширених трифазних електричних двигунів.

Умови пуску трифазного асинхронного двигуна в однофазному режимі.

Асинхронний трифазний двигун можна використовувати у якості однофазного. В цьому виникає необхідність коли відсутня трьохфазна мережа. При роботі від однофазної мережі трьохфазний двигун може розвивати потужність, рівну 50% його потужності в трьохфазному режимі.

Для ввімкнення трьохфазного асинхронного двигуна в однофазну напругу використовують спеціальні схеми з конденсаторами чи резисторами.

При використанні конденсаторів трьохфазний двигун вмикають з використанням пускового ( $C_p$ ) та робочого ( $C_r$ ) конденсаторів за схемою, наведеною на рис. 2.3, а та б.

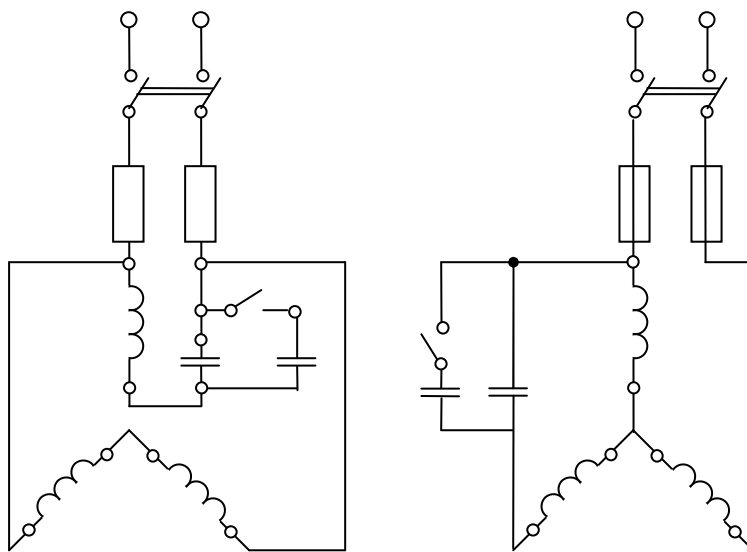


Рис. 2.3. – Схеми вмикання трифазного асинхронного двигуна в однофазний режим із конденсатором

Розрахункову ємність конденсаторів визначають за формулою:

$$C_p = (2740 - 2800) \frac{I_n}{U_n};$$

$$C_{п} = (2,5 - 3)C_p,$$

де  $I_i$  - номінальний струм двигуна;  
 $U_i$  - напруга мережі.

### Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить кондиціонер типу БК-1500. Для дослідження однофазного конденсаторного двигуна компресора основні вузли підключення X2, X3, 1 двигуна (рис.2.2) виведені на панель стенда, схема якого приведена на рис.2.4, де позначені: K - пускове реле; C2, C1 - пусковий і робочий конденсатори; K0, P0 - конденсаторна і робоча обмотки двигуна компресора.

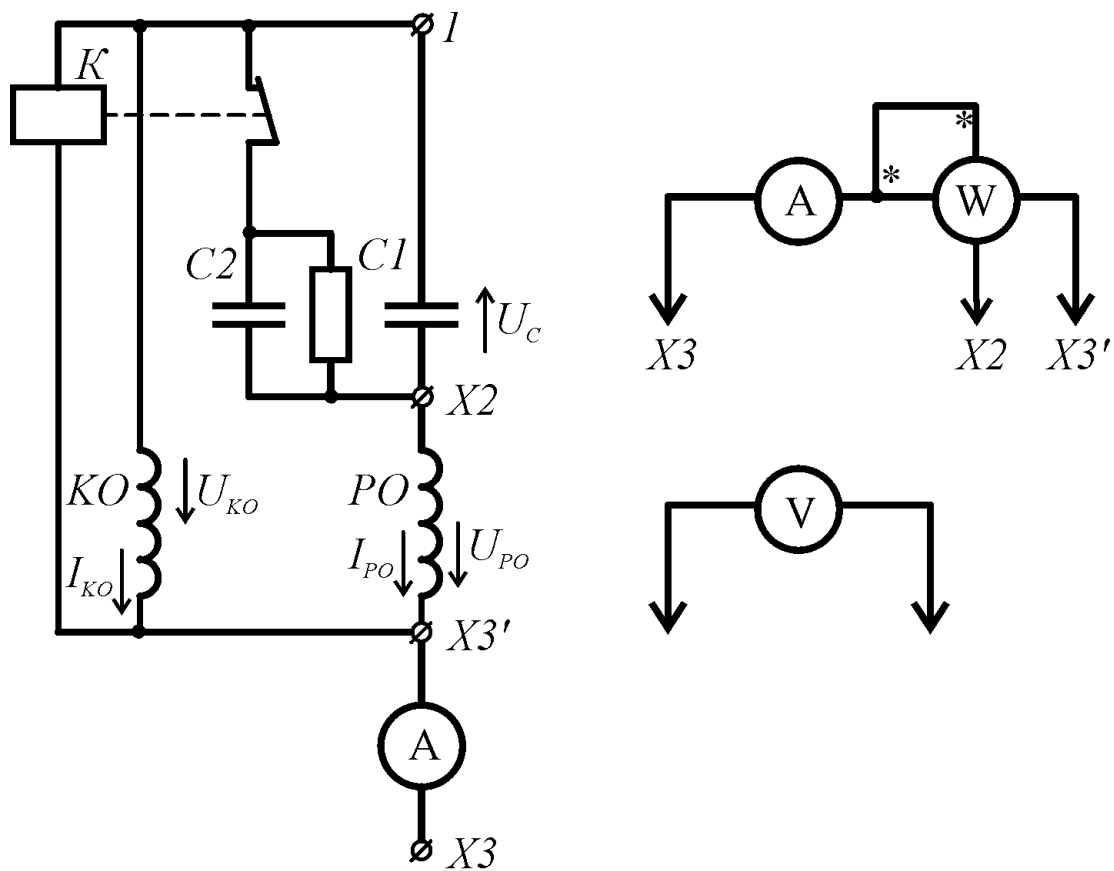


Рис.2.4 – Схема однофазного конденсаторного двигуна компресора

### Вказівки до виконання роботи

Вивчити схеми (рис.2.1 і 2.2) теплового насоса та електричну схему конденсаторного двигуна компресора побутового кондиціонера.

Виміряти величини, наведені в табл. 2.1, в якій прийняті позначення:

- $I$  - сталий струм;
- $P_{вх}$  - потужність,
- $U_{p0}$  - напруга на робочій обмотці;
- $U_{k0}$  - напруга на конденсаторній обмотці;



$U_c$  - напруга на конденсаторі.

Розрахувати струм конденсаторної обмотки  $I_{k0}$ , що дорівнює току робочого конденсатора.

$$I_{k0} = \frac{U_c}{X_c} = U_c \omega C = U_c \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 30 = 0,94 \cdot 10^{-2} U_c$$

$$\underline{S_{вх}} = U_{p0} I, \quad Q_{вх} = \sqrt{S_{вх}^2 - P_{вх}^2}, \quad Q_c = U_c I_{k0}, \quad Q_{дв} = Q_{вх} + Q_c$$

$\varphi_{дв}$  - кут зсуву між струмом і напругою робочої обмотки,

$$\varphi_{дв} = \arctg \frac{Q_{дв}}{P_{вх}}$$

$\beta$  - кут зсуву між струмами робочої і конденсаторної обмоток (знаходиться графічним шляхом).

Таблиця 2.1 Дослідження однофазного конденсаторного двигуна компресора

| Виміряні   |                  |                 |                 |              | Обчислені       |                  |                   |                |                   |                          |                   |
|------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| $I$ ,<br>А | $P_{вх}$ ,<br>Вт | $U_{p0}$ ,<br>В | $U_{k0}$ ,<br>В | $U_c$ ,<br>В | $I_{k0}$ ,<br>А | $S_{вх}$ ,<br>ВА | $Q_{вх}$ ,<br>Вар | $Q_c$ ,<br>Вар | $Q_{дв}$ ,<br>Вар | $\varphi_{дв}$ ,<br>град | $\beta$ ,<br>град |
|            |                  |                 |                 |              |                 |                  |                   |                |                   |                          |                   |

### Оформлення звіту.

У звіті дати схему стенда для дослідження однофазного конденсаторного двигуна компресора кондиціонера (рис.2.4), табл.2.1 з векторними діаграмами напруг і струмів.

У конспекті лекцій привести схеми (рис.2.1 і 2.2) і матеріали самостійного вивчення питань, що відносяться до цих схем.

### Контрольні питання

1. Який пристрій називають тепловим насосом?
2. Принцип дії компресійного ТН
3. Принцип дії термоелектричного ТН •
4. Призначення випарника і розширника.
5. Для чого призначений конденсатор і компресор?
6. Як установлюють режим роботи кондиціонера?
7. У яких режимах може працювати побутовий кондиціонер?
8. Як здійснюються режими вентиляції?
9. Як здійснюються режими кондиціонування?
10. Як здійснюється пуск АД вентилятора і компресора?
11. Як регулюється температура кондиціонування?
12. Як виконується захист АД компресора від перевантаження?

13. Для чого призначено реле напруги?
14. Чим відрізняються робочий і пусковий конденсатори?
15. Чим відрізняються режими роботи АД вентилятора і компресора?
16. Чому пуск АД вентилятора можливий без пускового конденсатора?
17. Чому для включення трифазного двигуна в однофазній мережі необхідно використання конденсатору?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

### СИЛОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР. СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ

#### **Мета роботи:**

- вивчити основні електротехнічні характеристики силових трансформаторів;
- вивчити умови роботи силових трансформаторів, в тому числі при рівнобіжній роботі;
- вивчити схеми з'єднань обмоток трансформатора;
- познайомитися з параметрами силових трансформаторів і дослідами для їхнього одержання;
- навчитися складати схему заміщення силового трансформатора й експериментально одержувати дані для розрахунку.

#### **Короткі теоретичні відомості.**

Трансформатори є основним електричним устаткуванням, що забезпечують передачу енергії від електростанції до споживачів і її розподіл. Так, на шляху від генератора до споживача (0,4 кВ) електроенергія перетерплює від 1 до 9 трансформацій (1500, 1150, 750, 500, 330, 220, 110, 35, 10, 0,4 кВ). Слід враховувати, з одного боку, що в кожній ступені трансформації на 1 кВт потужності, яка передається необхідно встановити 1,5-2,5 кВА трансформаторної потужності, а з іншого – покращення ефективності використання силового трансформатора на підстанціях, які знаходяться в експлуатації лише на 1 %, рівноцінно річному випуску трансформаторів на заводах України. Тобто при проектуванні розподільчих мереж прагнуть встановлювати трансформатори якомога меншої номінальної потужності, тобто максимально використовують їх навантажувальну спроможність. Крім того, силові трансформатори загального призначення, особливо розподільчі, як правило працюють з нерівномірним навантаженням, при цьому відхилення миттєвих значень навантаження від середньодобового можуть інколи сягати  $\pm 50$  % з періодичністю, як протягом доби, так і протягом сезону року.

Для компенсації втрат напруги в мережах підвищувальні трансформатори мають на вищій стороні напругу на 10 % вище номінальної напруги мережі, а понижуючі - нижчу напругу, на 5-10 % вище номінальної напруги мережі.

Кожен трансформатор характеризується номінальними даними: потужністю, струмами первинної і вторинної обмоток, втратами холостого ходу  $\Delta P_{xx}$ , втратами короткого замикання  $\Delta P_k$  (або втратами в міді  $\Delta P_m$ ), напругою короткого замикання  $u_k$ , струмом холостого ходу  $i_{xx}$  (або  $i_0$ ), а також групою з'єднання і видом охолодження.

**Напруга короткого замикання трансформатора** - це напруга, яку необхідно підвести до однієї з обмоток при замкнутій накоротко іншій, щоб у цій останній протікав номінальний струм. Напруга к. з. у відсотках від значення номінальної, приводиться в каталогах і складає 4,5-12 %. **Струм холостого ходу** - струм, який при номінальній напрузі встановлюється в обмотці, до якої прикладена напруга, при розімкнутій іншій обмотці. Утрати х. х.  $\Delta P_{xx}$  визначаються струмом  $i_0$ , вираженим у відсотках від струму відповідної обмотки. **Номінальні струми обмоток** трансформатора приводяться в каталогах. Під номінальним навантаженням варто розуміти навантаження, яке дорівнює номінальному току (номінальної потужності), що трансформатор може нести протягом усього терміну служби (20-25 років) при номінальних температурних умовах.

**Група з'єднань** - кутовий (кратний  $30^\circ$ ) зсув векторів між однойменними лінійними напругами обмоток трансформатора.

Початки обмоток двообмоточного однофазного трансформатора позначають буквами А и а, кінці - Х і х. У трифазних двообмоточних трансформаторах початки і кінці обмоток позначають відповідно буквами А,В,С,; а,в,с і Х,У,З; х,у,з. Великі букви відносяться до вищої напруги, а малі - до обмоток нижчої напруги. Затиски нульової точки при з'єднанні в зірку позначають через О и о. Поняття початку і кінця обмотки умовне. У трифазних трансформаторах застосовують наступні схеми з'єднань  $Y/Y$ ,  $\Delta/\Delta$ ,  $\Delta/Z$ ,  $Y/\Delta$ ,  $\Delta/Y$ ,  $Y/Z$  (Y - з'єднання зіркою,  $\Delta$  - трикутником, Z - зигзаг-зіркою; у чисельнику зазначені з'єднання обмотки вищої напруги, у знаменнику - нижчої напруги).

Ці схеми утворюють 12 різних груп з'єднань зі зрушенням фаз лінійних е.р.с. первинної і вторинної обмоток від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  через  $30^\circ$ .

Для узгодження роботи трансформатора з приймачами складається схема заміщення. При складанні схеми заміщення користуються наступними допущеннями:

- при зміні навантаження трансформатора в широких межах магнітний потік можна вважати практично постійним і рівним магнітному потоку в режимі Х.Х.

- при дослідженні "нормального" короткого замикання магнітний потік у сердечнику настільки малий, що їм можна зневажити і втрати в сталі практично

дорівнюють нулю, а втрати в міді (в обмотках) дорівнюють втратам при номінальному навантаженні.

### Опис установки.

Лабораторна установка містить дослідний трансформатор TV3, проміжний трансформатор TV2, автотрансформатор TV1 і вимірювальні прилади.

### Послідовність виконання роботи.

1. Зібрати схему досліду холостого ходу з боку низької напруги і представити її викладачеві (рис 3.1). Обмотку низької напруги задає викладач.

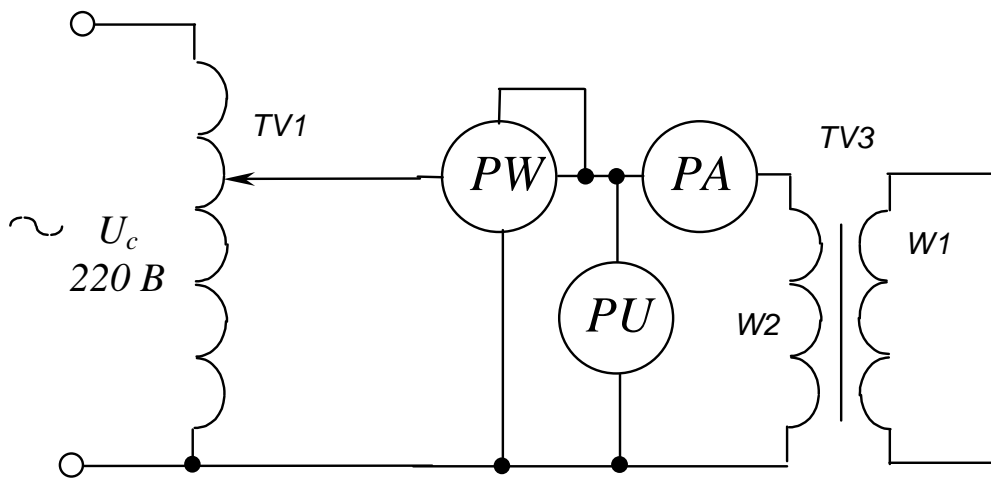


Рис. 3.1 – Дослідження холостого ходу трансформатора

2. Зняти показання приладів і занести їх у таблицю.

Таблиця 3.1 Дослідження холостого ходу

| Транс-форма-тор | Повна потужність ВА | Напруга ВН, В | Напруга НН, В | Втрати потужност і XX $P_{xx}$ , Вт | Струм XX, А | Струм XX I, % | При-мітки |
|-----------------|---------------------|---------------|---------------|-------------------------------------|-------------|---------------|-----------|
|                 |                     |               |               |                                     |             |               |           |

3. Зібрати схему для проведення досліду короткого замикання і представити її викладачеві (рис 3.2). Режим короткого замикання (номінальний струм) задає викладач.

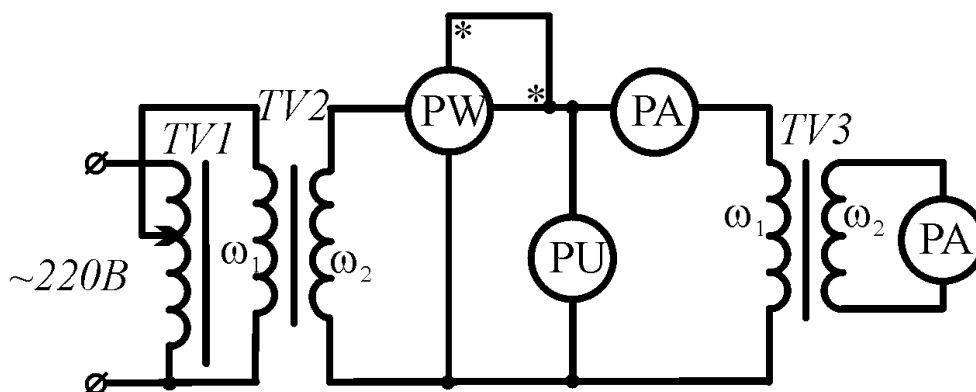


Рис. 3.2 - Принципова електрична схема дослідження «коротке замикання»

4. Зняти показання приладів і занести них у таблицю.
- 5.

Таблиця 3.2 – Дослідження короткого замикання

| Трансформатор | Повна потужність ВА | Напруга ВН, В | Напруга НН, В | Втрати потужності і КЗ $P_k$ , Вт | Напруга $U_k$ , В | Напруга $U_k$ , % | Струм $I_2$ , А |
|---------------|---------------------|---------------|---------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
|               |                     |               |               |                                   |                   |                   |                 |

### Зміст звіту.

Звіт повинний містити схеми проведення дослідів, отримані дані (табл.3.3), схему заміщення трансформатора і розрахунок параметрів схеми заміщення.

Таблиця 3.3 – Параметри трансформатора

| Трансформатор | Повна потужність ВА | Напруга ВН, В | Напруга НН, В | Напруга $U_k$ , % | Втрати потужності КЗ $P_k$ , Вт | Втрати потужності $P_{xx}$ , Вт | Струм $I_1$ , % |
|---------------|---------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
|               |                     |               |               |                   |                                 |                                 |                 |

### Контрольні питання.

1. Перелічіть номінальні параметри, що характеризують трансформатор.
2. Поясніть розходження між аварійним режимом КЗ і дослідом «КЗ».
3. Назвіть необхідні умови для рівнобіжної роботи трансформаторів.
4. Методи перевірки можливості включення трансформаторів для рівнобіжної роботи.

5. Дайте характеристику групам з'єднання трансформаторів.
6. Класифікація трансформаторів по напрузі відповідно стандарту.
7. Умови вмикання силових трансформаторів на паралельну роботу.
8. Перелічіть найбільш поширені групи з'єднань трансформаторів.
9. Умовні позначення груп з'єднань силових трансформаторів.
10. Мета та умови проведення досліду «ХХ» і «КЗ» силових трансформаторів.
11. Методи перевірки можливості включення трансформаторів для рівнобіжної роботи.
12. Дайте характеристику групам з'єднання трансформаторів з точки зору їх застосування на практиці, тобто в яких випадках доцільно застосовувати  $\Delta$ ,  $Y$ ,  $Y^{\circ}$ ,  $Y_{\Delta}$ .
13. Перелічіть схеми заміщення трансформатора.
14. Умови розрахунку схеми заміщення трансформатора.
15. Дайте характеристику елементам схеми заміщення трансформатора.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЛИХ РЕЖИМІВ МЕРЕЖІ З РОЗРЯДНИМИ ЛАМПАМИ

### Мета роботи:

- вивчити основні типи джерела світла, які застосовують в освітлювальних установках;
- вивчити технічні параметри, що характеризують джерела світла;
- вивчити схеми включення розрядних ламп низького тиску на прикладі люмінесцентної лампи;
- дослідити особливості світильників з розрядними джерелами світла, як навантаження електричної мережі.

### Короткі теоретичні відомості

Відповідно статистичних даних на освітлювальні установки в електричних мережах витрачається до 20 % від загальної кількості спожитої електроенергії. Освітлювальні установки забезпечують наступні види освітлення: робоче, чергове, охоронне, аварійне. Кожне із вказаних видів освітлення характеризується відповідними параметрами, які вибираються на основі загальних і галузевих норм освітлення (рівень освітленості – *лк*, яскравості – *кд*, пульсації світлового потоку, ін.) Для штучного освітлення застосовують декілька систем освітлення: загальне, місцеве, комбіноване. В нормативно-технічних документах на проектування вказується рекомендована система освітлення для визначених приміщень і об'єктів і його технічні параметри.

В якості джерел світла застосовують цілий ряд приладів, рис. 4.1, які різняться по принципу генерації оптичного випромінювання ( $\lambda_{об} = 1 - 10000$  нм) видимого діапазону ( $\lambda_{вд} = 380 - 780$  нм), рис.1.2:

Лідерами ринку світлотехнічних приладів вважаються всесвітньовідомі фірми: CREE, OSRAM, PHILIPS, LUMILEDS

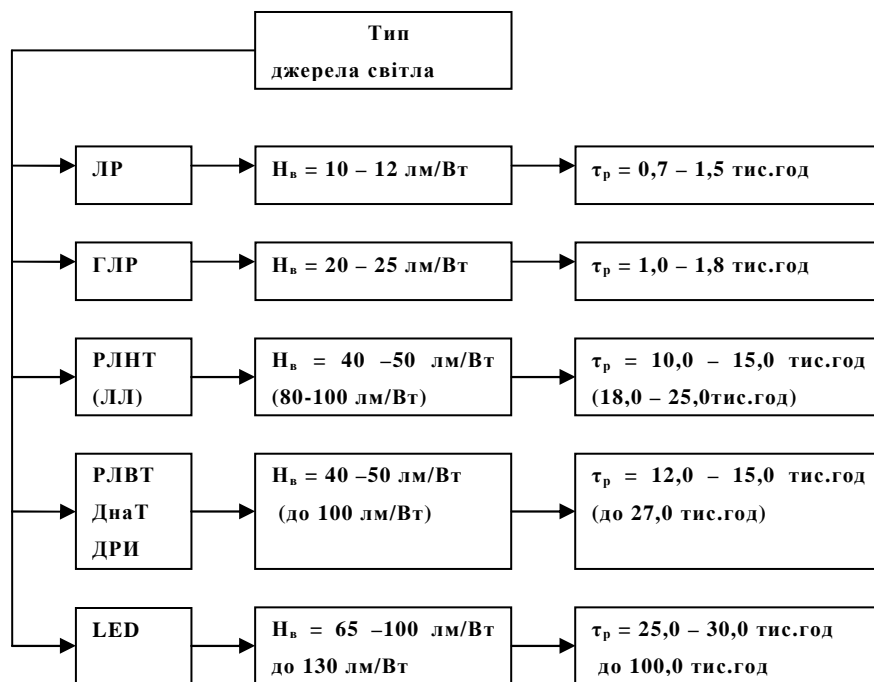


Рис. 4.1 – Основні типи джерела світла та їх технічні характеристики

Спектр випромінювання – сукупність монохроматичних випромінювань, що входять до складу загального випромінювання, як правило його описують залежністю у вигляді графіка, аналітичного виразу, або у вигляді таблиці.

Джерела випромінювання можуть мати неперервний, смугастий та лінійчатий спектр.

*Неперервний спектр* – спектр, у якого монохроматичні складові заповнюють без перерви інтервали довжин хвиль, в межах якого відбувається випромінювання (ЛР; ДРИ)

*Смугастий спектр* – спектр, монохроматичні складові якого утворюють дискретні групи (смуги), які складаються із багатьох тісно розміщених ліній випромінювання (ДРЛ, ДнаТ).

*Лінійчатий спектр* – спектр, який складається з окремих не примикаючих одне до одного монохроматичних випромінювань (ЛБ).

Освітлювальні установки промислових підприємств, як показує статистика споживає не менш 45 % електроенергії, що витрачається на все штучне освітлення й не менш 10 % електроенергії, споживаної самими підприємствами.

Умови освітлення на промислових підприємствах дуже впливають на

якість зорових робіт, фізичний і моральний стан людей, якість виготовленої продукції, рівень виробничого травматизму.

Збільшення освітленості на робочих місцях у виробничому приміщенні й у місцях зовнішніх робіт позитивно впливають на такі важливі функції зору, як його гострота, стійкість ясного бачення, швидкість розходження, контрастна чутливість.

Розрізняють:

- робоче освітлення;
- чергове освітлення;
- охоронне освітлення;
- аварійне освітлення.

Вибір нормованих параметрів освітлення на об'єкті.

Вибір необхідних по нормах штучного освітлення параметрів: мінімальної або середньої освітленості, середньої яскравості, і параметрів якості освітлення показників засліпленості й дискомфорту, показники циліндричної освітленості, коефіцієнта пульсації освітленості проводять на підставі галузевих норм освітленості, розроблених для багатьох видів промислових підприємств і галузей.

Для кожного приміщення вибирають рівень освітленості (лк), ступінь рівномірності освітленості, рівень яскравості джерела світла, ін.

Розрізняють кілька систем освітлення:

- загальне освітлення;
- місцеве освітлення;
- комбіноване освітлення.

У галузевих нормах указують рекомендовану систему освітлення для певного приміщення або об'єкта. У випадку відсутності рекомендацій вибирають систему освітлення виходячи з особливостей проектного об'єкта.

Освітлення приміщень підприємств і установ здійснюється переважно газорозрядними приладами, а побутових приміщень - лампами розжарювання. Це пов'язано з тим, що світловіддача люмінесцентних ламп у три рази вище, а термін служби в десять разів більше, ніж у ламп розжарювання. Лампи розжарювання значно дешевші, простіші в експлуатації і більш екологічні.

Люмінесцентні лампи (ЛЛ) тиском 4 мм ртутного стовпчика являють собою скляні трубки (заповнені аргоном з крапелькою ртуті), по кінцях яких упаяні вольфрамові біспіральні електроди, покриті тонким шаром барію. Внутрішня скляна поверхня трубки покрита люмінофором.

Електричний дуговий розряд в аргонортутній суміші супроводжується випромінюванням ультрафіолетових променів, які викликають світіння люмінофора.

Середня тривалість горіння люмінесцентних ламп при номінальній напрузі на їхніх затисках не менше  $\tau_p = 10\ 000$  год. Оскільки світлова віддача люмінесцентних ламп набагато більше, ніж ламп розжарювання, то вони дозволяють значно збільшити освітленість робочих поверхонь без підвищення потужності світлотехнічної установки.



При використанні люмінесцентних ламп (ЛЛ) необхідно враховувати головну їхню особливість як навантаження мережі - дуговий розряд. Для функціонування ЛЛ необхідна складна пускорегулююча апаратура (ПРА), що забезпечує первинне утворення дуги та її стабілізацію у сталому режимі (рис.4.2.).

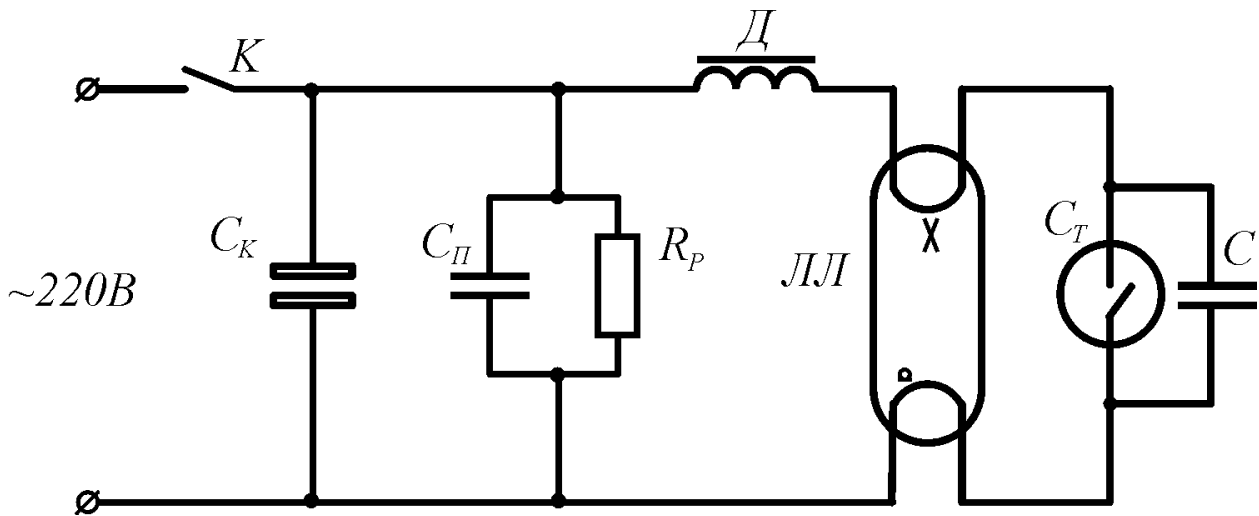


Рис.4.2 – Схема включення ЛЛ

На схемі однолампової пускорегулюючої апаратури (рис.4.2) позначені елементи:

$C_{п}$  – конденсатор електrolітичний, двополярний ємністю 4мкф, призначений для підвищення коефіцієнта потужності;

$C_{к}$  – конденсатор перешкодогамуючий, паперовий ємністю 0,01мкф;

$R_{р}$  – розрядний резистор опором 1 МОм;

$D$  – дросель;

$ЛЛ$  – люмінесцентна лампа потужністю 40 Вт

$C_{т}$  – стартер - неонові лампа з біметалічним контактом;

$C$  – конденсатор, полегшує комутацію контакту стартера і знижує рівень радіоперешкод.

Після замикання ключа  $K$  відбувається пуск  $ЛЛ$ , який можна розбити на три стадії:

- при номінальній напрузі під впливом тліючого розряду стартера  $C_{т}$  (неонові лампи з біметалічним контактом) здійснюються розігрів і деформація біметалічного електрода теплом розряду, закінчується етап замиканням контактів  $C_{т}$ ;

- струмом, що замикається через контакт  $C_{т}$ , розігріваються спіралі ниток розжарювання до 800 °С;

- розмикається контакт  $C_{т}$ , оскільки тліючий розряд відсутній і біметалічна пластина остигнула; струм переключується на електроди лампи, між якими починається дуговий розряд через стрибкоподібне підвищення напруги при спробі обриву контактами струму індуктивності дроселя.

У сталому режимі контакт  $C_T$  не замикається, тому що напруга між електродами при дуговому розряді набагато менше напруги живлення і тліючого розряду в стартері не відбувається.

Дросель виконує важливу роль і в сталому режимі стабілізує горіння дуги. Завдяки індуктивності перехід струму через нуль здійснюється значно пізніше, ніж напруги. Тому дуга відновлюється в кожному напівперіоді миттєво і струм не переривається.

Через нелінійну вольт-амперну характеристику дуги (рис.4.3,а) форма фазних напруг (рис.4.3,б) істотно відрізняється від гармонійної форми. При симетричному навантаженні трьох фаз у нульовому проводі струм вищих гармонік (кратних трьом), що визначають ЕРС  $U^3$  (рис. 4.3,в), замикається. Діюче значення струму в нульовому проводі може складати 0,85 номінального струму. Таким чином, необхідно враховувати, що освітлювальні розрядні прилади генерують вищі гармоніки (в основному треті) в електричну мережу; перевантажують нульовий провід складової нульової послідовності.

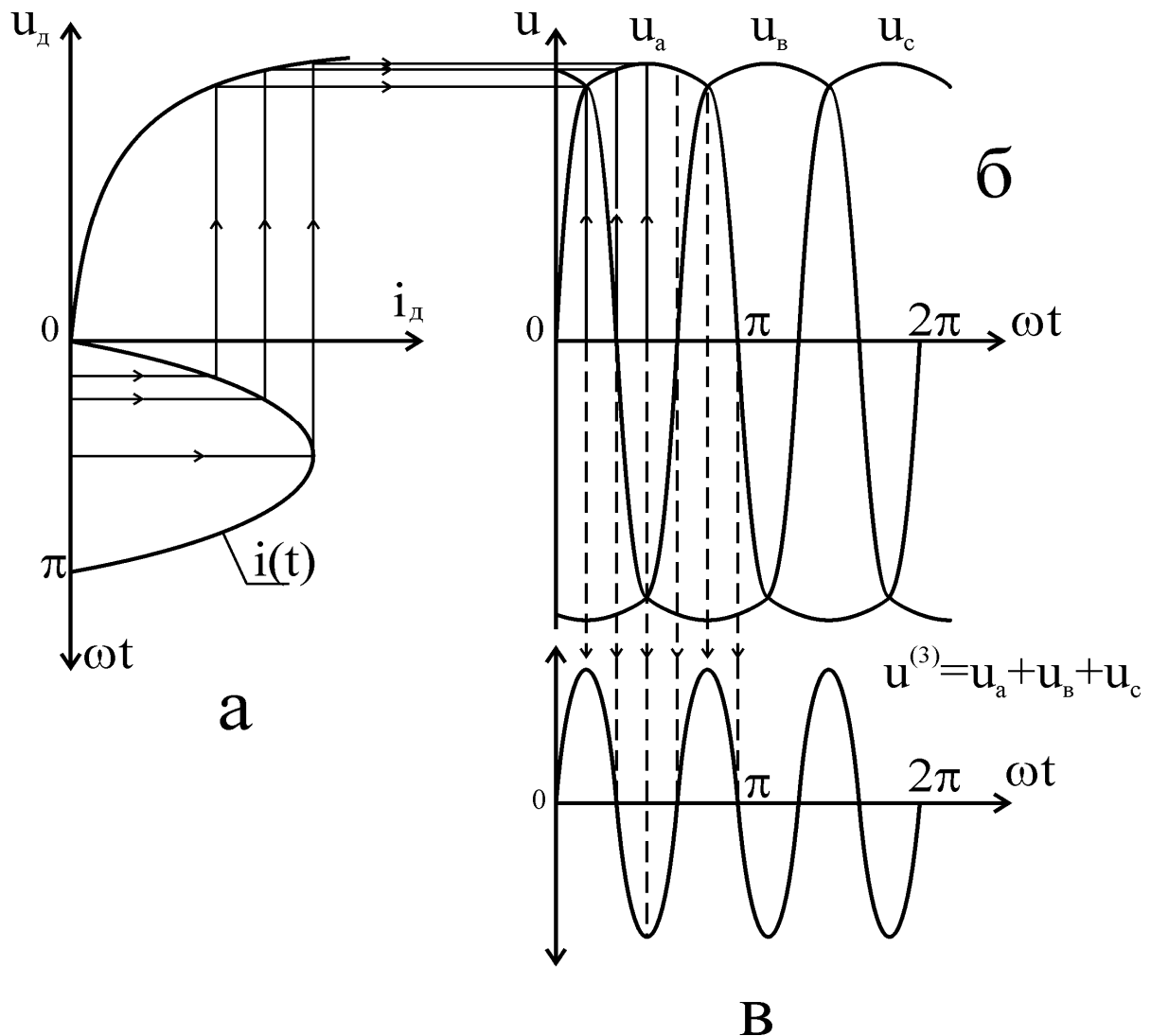


Рис. 4.3 - Вольт-амперна характеристика дуги та форма фазних напруг

Тому перетин нульового проводу мережі, що живить газорозрядні лампи, варто вибрати рівним перетину фазних проводів.

Якщо врахувати, що опір нульового проводу  $z_0^3$  набагато менше опору  $z_H^3$  навантаження для третіх гармонік  $z_0^3 \ll z_H^3$  струм нульового проводу визначається співвідношенням

$$I_0 = 3 \frac{U^{(3)}}{z_H^3}$$

звідки

$$z_H^3 \cong 3 \frac{U^{(3)}}{I_0},$$

де  $U^{(3)}$  - діюче значення ЕРС третьої гармоніки.

### **Описання лабораторної установки**

Трифазна освітлювальна установка (рис.4.4) підключена до мережі 380/220 В. У роботі застосовуються люмінесцентні лампи потужністю 40 Вт із ПРА типу 1УБН-40/220.

На схемі стенда (рис.4.4) прийняті позначення:

$r, r_n$ , - малі активні резистори, що використовуються для зняття осцилограм струмів;

S4 – двофазний перемикач, що дозволяє встановлювати однофазний (S4 відключений), або трифазний режим (S4 включений);

S1 S2 S3 – перемикачі, що підключають конденсатори  $C_a, C_b, C_c$ , які компенсують реактивну потужність

D – дроселі;

ЛЛ – люмінесцентні лампи;

$C_T$  – стартери -

A1, A2, A3, B3, C3, N, N3 – клеми для вмикання вимірювальних ланцюгів.

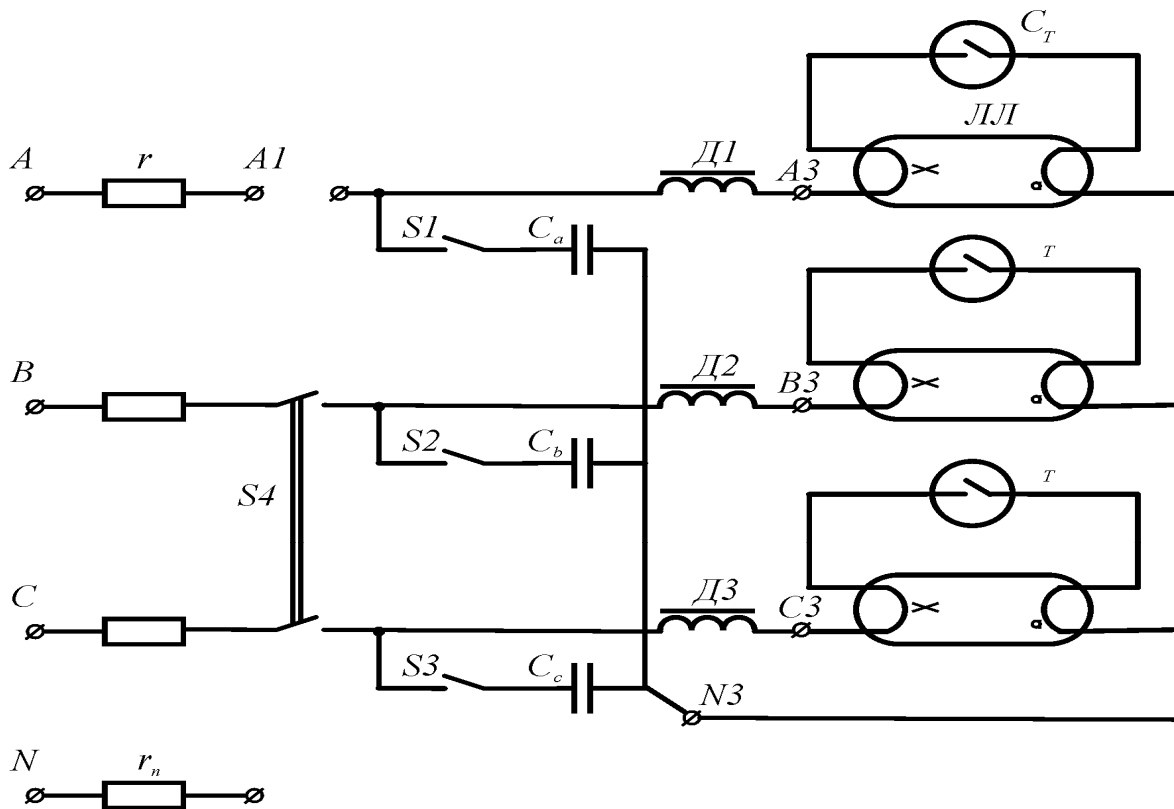


Рис. 4.4 - Трифазна освітлювальна установка

При виконанні роботи використовуються прилади і вимірювальні ланцюги, приведені на рис.4.5

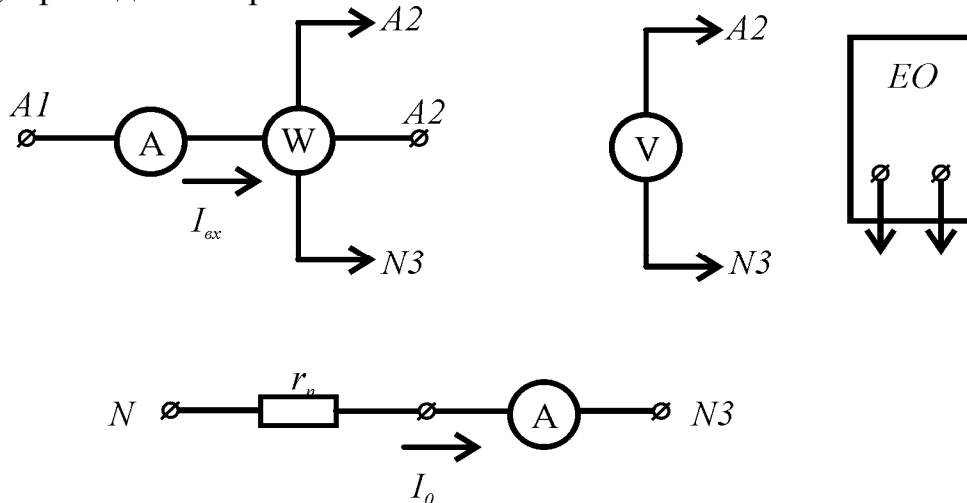


Рис.4.5 - Прилади і вимірювальні ланцюги

### Указівки до виконання роботи

Вивчити устаткування стенда (у звіті привести схему стенда).

Досліджувати однофазний режим для двох випадків:

- без конденсатора  $C_a$  (перемикач  $S_1$  у нижньому положенні);
- при включеному конденсаторі  $C_a$  ( $S_1$  увімкнуті).

Для виконання досліду двофазний вимикач  $S_4$  відключити (2 лампи не повинні горіти), зібрати вимірювальні ланцюги, підключивши них у точках стенда, зазначених на рис. 4.3.

Результати вимірів занести в табл.4.2.

Перевірити графічно виконання другого закону Кірхгофа

$$\dot{U}_{вх} = \dot{U}_\partial + \dot{U}_л$$

Таблиця 4.1- Дані досліджень однофазного режиму 1

| Режим            | Виміряні       |                   |                 |                   |                 |                   | Обчислені       |                         |                    |
|------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------------------|
|                  | $I_{вх},$<br>А | $U_{A2,N3},$<br>В | $P_{вх},$<br>Вт | $U_{A2,A3},$<br>В | $P_{др},$<br>Вт | $U_{A3,N3},$<br>В | $S_{вх},$<br>ВА | $\cos \varphi,$<br>в.о. | $\varphi,$<br>град |
| Без конденсатора |                |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                         |                    |
| З конденсатором  |                |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                         |                    |

Порівняти кути  $\varphi$  і  $\varphi_2$ , де кут  $\varphi$  знайдений за коефіцієнтом потужності, а  $\varphi_2$  - графічним шляхом.

Зняти осцилограми напруг на лампі і дроселі. Пояснити їх і якісно замалювати.

Досліджувати трифазний режим освітлювального навантаження розрядних ламп: без конденсаторів і при включених конденсаторах  $C_a, C_b, C_c$  ( $S1, S2, S3$  у верхнім положенні).

Вимірити величини, зазначені в табл.4.2;

$I_{a\ mp}$  - струм нульового проводу в трифазному режимі;

$I_{0\ дв}$  - струм нульового проводу в двофазному режимі (ланцюг фази  $A$  розмикається);

$U_{N,N3}$  - напруга в розімкнутій нейтралі мережі і навантаження (виміряється при розриві ланцюга нульового проводу).

Таблиця 4.2 Дані досліджень три- та двофазного режимів

| Режим                 | Виміряні       |                   |                   |                  | Обчислені                 |                             |              |                    |
|-----------------------|----------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|
|                       | $I_{вх},$<br>А | $I_{a\ mp},$<br>А | $I_{0\ дв},$<br>А | $U_{N,N3},$<br>В | $\frac{I_{0.mp}}{I_{вх}}$ | $\frac{I_{0.дв}}{I_{0.mp}}$ | $Z_H,$<br>Ом | $Z_H^{(3)},$<br>Ом |
| Без конденсатору      |                |                   |                   |                  |                           |                             |              |                    |
| З конденсатором $C_a$ |                |                   |                   |                  |                           |                             |              |                    |
| З конденсатором $C_b$ |                |                   |                   |                  |                           |                             |              |                    |
| З конденсатором $C_c$ |                |                   |                   |                  |                           |                             |              |                    |

Опір навантаження визначається за даними табл. 4.1.

$$Z_H = \frac{U_{вх}}{I_{вх}}$$

Зняти осцилограму струму нульового проводу, підключивши осцилограф до затисків резистора  $r_n$

### **Оформлення звіту**

У звіті привести рис.4.3 і 4.4, табл. 4.1 і 4.2 з результатами вимірів і обчислень.

У конспект лекцій занести матеріали самостійного вивчення схеми однолампової ПРА (рис. 4.2) і часових діаграм (рис.4.3).

### **Контрольні питання**

1. Переваги люмінесцентних ламп перед лампами розжарювання.
2. Призначення елементів схеми стартерного включення люмінесцентних ламп.
3. Які фактори визначають величину струмів третьої гармоніки в нульовому проводі?
4. Як можна визначити наближене значення фазної ЕРС третьої гармоніки?
5. Чому люмінесцентні лампи сприяють виникненню стробоскопічного ефекту?
6. Як можна обмежити стробоскопічний ефект?
7. Який перетин повинний бути у нульового проводу електричної мережі, що живить освітлювальну трифазну установку з розрядними лампами?
8. Як працює ПРА?
9. Роль дроселя в сталому режимі .
10. Як впливають конденсатори, що компенсують, на режим мережі, що живить газорозрядні прилади?
11. Перелічить види освітлених установок.
12. Визначте спектри джерел світла.
13. Перелічить електричні параметри джерел світла.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5**

### **ВПЛИВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

#### **Мета роботи:**

- вивчити вплив роботи електроприймачів на якість електричної енергії (пускові характеристики електродвигунів, розрядних приладів і ламп розжарювання, порівняти їх зі сталим режимом);
- провести дослідження впливу зміни режиму навантаження на основні показники якості, в першу чергу, на гармонічний склад напруги та  $\cos \phi$ .

#### **Короткі теоретичні відомості**

Кожний електроприймач призначений для роботи при визначених параметрах мережі живлення: номінальній частоті, напрузі, струмі та ін. Відповідно, для нормальної роботи електроприймачів повинна бути забезпечена якість напруги живлення.

Відхилення показників якості електроенергії від нормативних показників знижують умови експлуатації обладнання енергопостачаючих підприємств і споживачів електроенергії, що може привести до значних втрат як в промисловості, так і у особистого споживача. Найбільш розповсюдженими електроприймачами електроенергії на підприємствах різних галузей промисловості є електродвигуни та освітлювальні установки. Серед електродвигунів найбільше розповсюдження отримали асинхронні двигуни тому, що вони прості в експлуатації та відносно дешевше інших. Синхронні двигуни мають ряд переваг перед асинхронними. Вони можуть використовуватися як джерела реактивної потужності, їх обертаючий момент менше залежить від напруги живлення і в більшості випадків вони мають більший ККД. Але вони дорожчі від асинхронних двигунів і складніші в виготовленні та експлуатації.

В установках електричного освітлення використовуються лампи розжарювання та розрядні. Освітлювальні установки бувають зовнішнього та внутрішнього призначення, для освітлювання різних приміщень. Термін служби джерел світла залежить від напруги живлення (рис. 5.1) та числа їхніх вмикань. Це зв'язано з наявністю інерційного елемента - ниток розжарювання у ламп розжарювання і розрядних лампах. Опір холодної нитки значно менше, ніж у сталому режимі. Через велику кратність пускового струму ламп розжарювання не рекомендується їхній груповий пуск. Пусковий струм люмінесцентної лампи істотно обмежується послідовно включеним дроселем. Тому без дроселя люмінесцентна лампа в мережу не включається.

Тривалість пуску освітлювальних приладів мала (до 1 с). Реєстрація характеристик приладів за такий короткий час утруднена.

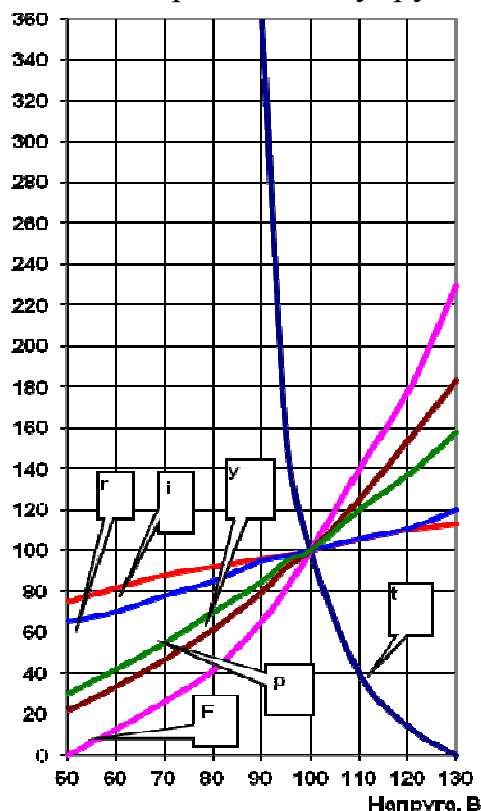


Рис. 5.1 - Хід зміни характеристик лампи, викликаний зміною напруги:

$I$  – струм;  $P$  – потужність;  $r$  – активний опір;  $\psi$  – світлова віддача;  $\tau$  – середній строк служби;  $F$  – світловий потік лампи

Якість електроенергії живлення суттєво впливає на роботу та термін дії споживачів. Особливо значення якості електроенергії набуває при розгляді питань надійності та економічності роботи приймачів електричної енергії.

### Опис лабораторної установки

Вимірювання якості електричної енергії та впливу на нього роботи розрядних ламп і електродвигунів виконують за допомогою розробленого в нашій академії аналізатора струму та напруги в електричних мережах „АНТЕС”. Він призначений для виміру та аналізу показників якості електроенергії, що встановлені ГОСТ 13.109-97, та виявлення приймачів, що погіршують показники якості електроенергії.

Для дослідження, характеристик пускового режиму розрядної лампи використовується устаткування стенда лабораторної роботи 1 (рис 5.3), а електродвигуна - лабораторної роботи 2 (рис 5.2) .

Для дослідження характеристик ламп розжарювання використовується устаткування стенда, схема якого приведена на рис.5.2, де встановлені понижуючий трансформатор  $T_p$  напругою 220/24 В и розетка  $P$  для підключення лампи розжарювання.

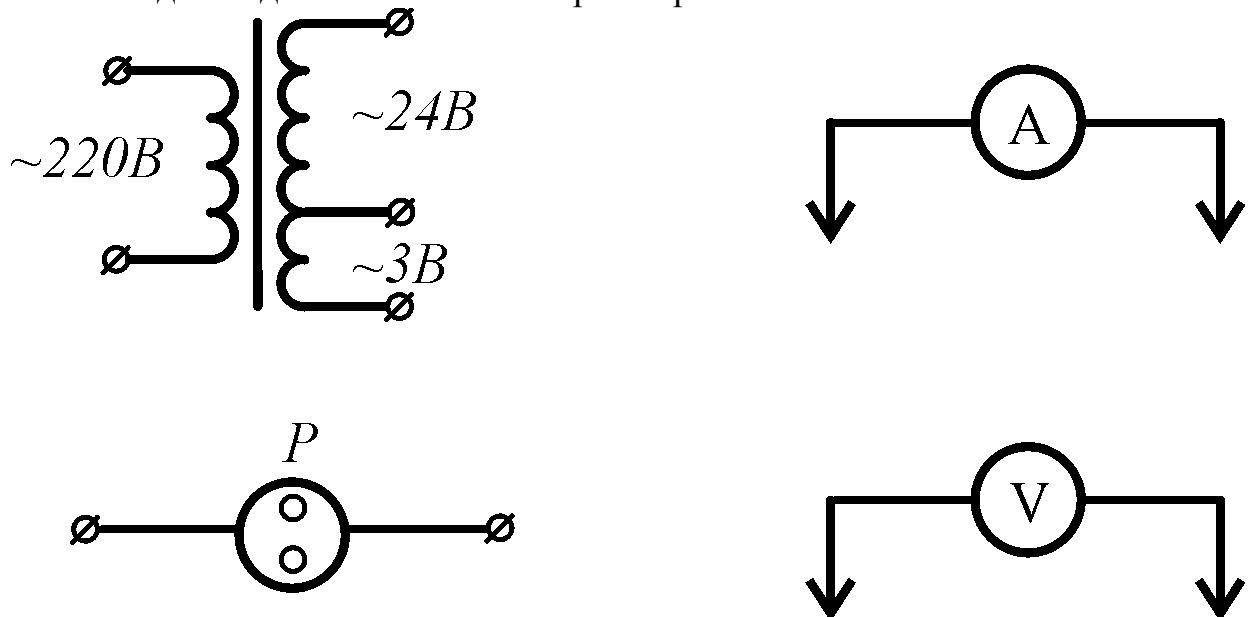


Рис.5.2 - Схема устаткування стенда



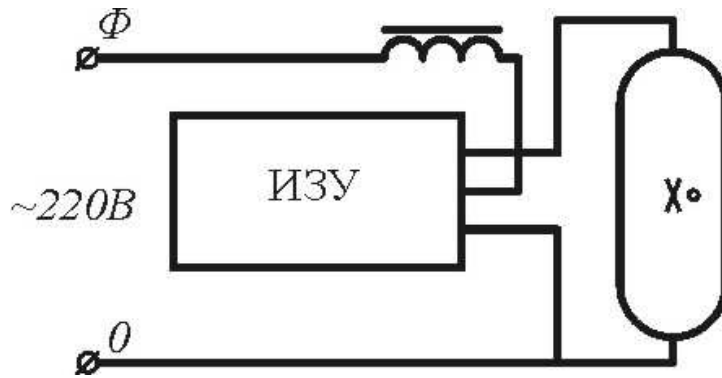


Рис. 5.3 - Схема включення натрієвої лампи

### Указівки до виконання роботи

Порівняти характеристики і параметри сталого і пускового режимів люмінесцентної лампи. Результати занести в табл.5.1 (при моделюванні пускового режиму замкнути ланцюг стартера).

Таблиця 5.1 Результати досліджень люмінесцентної лампи

| Режим    | Виміряні        |                 |              |            | Обчислені        |                   |             |                 |
|----------|-----------------|-----------------|--------------|------------|------------------|-------------------|-------------|-----------------|
|          | $U_{вх}$ ,<br>В | $U_{др}$ ,<br>В | $U_n$ ,<br>В | $I$ ,<br>А | $X_{др}$ ,<br>Ом | $r_{нак}$ ,<br>Ом | $Z$ ,<br>Ом | $k_n$ ,<br>в.о. |
| Сталий   |                 |                 |              |            |                  |                   |             |                 |
| Пусковий |                 |                 |              |            |                  |                   |             |                 |

Зробити висновки про фактори, що впливають, на величину пускового струму.

Побудувати статичну вольт-амперну характеристику  $U=f(I)$  і визначити кратність пускового струму лампи розжарювання. Для цього зробити виміри й обчислення відповідно до табл.5.2.

Таблиця 5.2 Результати досліджень лампи розжарювання

| Режим | Виміряні   |            | Обчислені   |             |              |                 |
|-------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|
|       | $U$ ,<br>В | $I$ ,<br>А | $P$ ,<br>Вт | $r$ ,<br>Ом | $I_n$ ,<br>А | $k_n$ ,<br>в.о. |
| 220   |            |            |             |             |              |                 |
| 127   |            |            |             |             |              |                 |
| 24    |            |            |             |             |              |                 |

Пусковий струм визначається по відношенню

$$I_n = \frac{U_n}{r_x}$$

де  $r_x$  - опір "холодної" нитки розжарювання, прийнятий з результатів третього дослідження (при  $U = 24В$ ).

З діаграми видно, що при зміні напруги від 250 В до 150 В напруга 1 і 3 гармонік зменшуються пропорційно зміні напруги, з 5 по 21 гармоніку зниження

відбувається в більшому ступені, а гармоніки з 33 по 39 істотно ростуть. Таким чином, високочастотні гармоніки в спектральному складі напруги при зниженні потужності збільшується, але абсолютне значення їхньої амплітуди незначно. Амплітуди 3-й, 5-й і 7-й гармонік напруги на лампах при змінах напруги від 150 до 250 В складають від 1-й гармоніки відповідно: 34-35%; 20-25%; 15-18%. Це необхідно враховувати при роботі випромінювальних і освітлювальних установок і при необхідності застосовувати схеми компенсації.

Значення  $\cos \varphi$  залишається практично постійним (рис. 5.1) у зазначеному діапазоні зміни напруги, що означає незначні зміни якості живильної мережі при зміні потужності лампи.

### **Оформлення звіту**

У звіті привести результати вимірів і обчислень, за даними яких побудувати залежності. Проаналізувати результати.

### **Контрольні питання**

1. Дайте характеристику показників якості електроенергії.
2. Як впливають показники якості електроенергії на роботу електроприймачів?
3. Назвіть основні задачі та види контролю показників якості електроенергії.
4. Як впливає частота включення на термін дії освітлювальних приладів?
5. Чому не рекомендується груповий пуск ламп розжарювання?
6. Основний фактор збільшення пускового струму розрядних джерел світла.
7. Чому тривалість пуску розрядних джерел світла значно більша, ніж ламп розжарювання?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6**

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГРУПИ З'ЄДНАННЯ ТРАНСФОРМАТОРУ**

#### **Мета роботи:**

- вивчити основні схеми з'єднань обмоток трансформатора та групи з'єднань силових трансформаторів;
- вивчити умови роботи силових трансформаторів, в тому числі при рівнобіжній роботі;
- познайомитися з дослідами для визначення групи з'єднання.

#### **Короткі теоретичні відомості.**

Початки обмоток двообмоточного однофазного трансформатора позначають буквами А и а, кінці - Х і х. У трифазних двообмоточних трансформаторах початки і кінці обмоток позначають відповідно буквами А,В,С,; а,в,с і Х,У,З; х,у,з. Великі букви відносяться до вищої напруги, а малі - до обмоток нижчої напруги. Затиски нульової точки при з'єднанні в

зірку позначають через  $O$  і  $o$ . Поняття початку і кінця обмотки умовне. У трифазних трансформаторах застосовують наступні схеми з'єднань  $Y/Y$ ,  $\Delta/\Delta$ ,  $\Delta/Z$ ,  $Y/\Delta$ ,  $\Delta/Y$ ,  $Y/Z$  ( $Y$  - з'єднання зіркою,  $\Delta$  - трикутником,  $Z$  - зигзаг-зіркою; у чисельнику зазначені з'єднання обмотки вищої напруги, у знаменнику - нижчої напруги).

**Група з'єднань** - кутовий (кратний  $30^\circ$ ) зсув векторів між однойменними лінійними напругами обмоток трансформатора.

Ці схеми утворюють 12 різних груп з'єднань зі зрушенням фаз лінійних е.р.с. первинної і вторинної обмоток від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  через  $30^\circ$ .

Таким чином, в реальних розподільчих схемах більшість трансформаторів живить споживачі паралельними групами. Для вмикання на паралельну роботу трансформатори повинні мати:

- *однакові коефіцієнти трансформації* ( $k_i$ ), інакше між вторинними обмотками буде циркулювати зрівняльний струм, який навіть при невеликій різниці в коефіцієнтах трансформації може привести до небезпечного перегріву обмоток і пошкодженню ізоляції;
- *однакову напругу короткого замикання* ( $u_k$ , %), інакше вони не зможуть ділити навантаження пропорційно своїм номінальним потужностям: один трансформатор буде недовантажений а інший – перевантажений. Співвідношення потужностей паралельно увімкнених трансформаторів не повинно бути більше 1:3;
- *однакові групи з'єднань*, інакше між відповідними векторами вторинної напруги трансформаторів утворюється зсув фаз, що приводить до різниці величини напруги. Тобто, якщо в один і той же час можуть існувати різні по величині напруги, то для їх вирівнювання між трансформаторами протікає зрівняльний струм, який у випадку зсуву в  $30^\circ$  – перевищує номінальний струм в 5 разів, а при  $180^\circ$  – в 20 разів.

На рис.6.1, 6.2 наведено схеми з'єднання 10 трансформаторів, які найбільш частіше зустрічаються на практиці. Зверніть увагу на розміщені поруч із схемами векторні діаграми, які наведені у наступному порядку: зліва – векторна діаграма напруги первинної обмотки; всередині – вторинної обмотки; праворуч – напруги обох обмоток сполучені в годинах, тобто умовно їх центри розміщують у центрі циферблату годинника. Хвилинна стрілка співпадає із напрямком одного із векторів напруги первинної обмотки (вектор –  $\dot{V}$ ), а годинна – з вектором напруги вторинної обмотки одноіменної фази (вектор –  $\dot{b}$ ).

Зверніть увагу, що порівнюється розміщення векторів первинної і вторинної “зірок”. Тому у випадку з'єднання обмоток у трикутник слід перед визначенням груп з'єднань, вписати в трикутник “еквівалентну зірку”. Після чого, розглядають “зірки”, спрямовуючи відповідні стрілки вздовж векторів “зірок” до вершин  $\dot{B}$  і  $\dot{b}$  потім  $\dot{A}$  і  $\dot{a}$ , та  $\dot{C}$  і  $\dot{c}$ .

З детального аналізу векторних діаграм на рис. 6.1, 6.2 можна зробити висновок, що декілька схем, незважаючи на різну з'єднання обмоток,

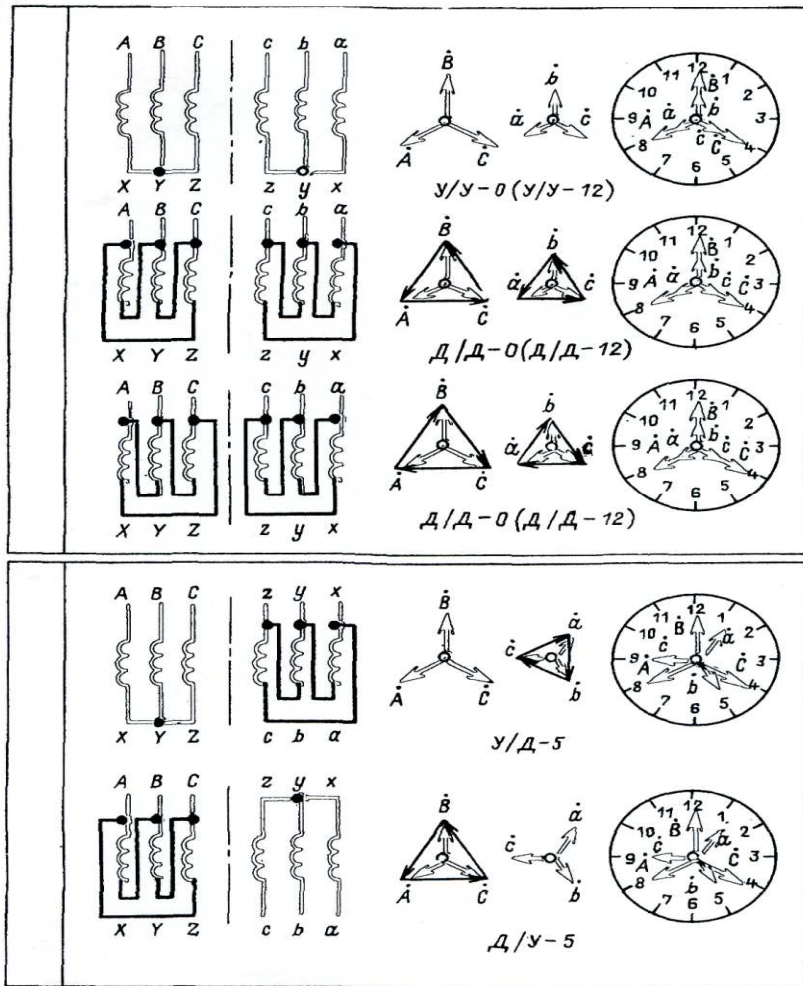
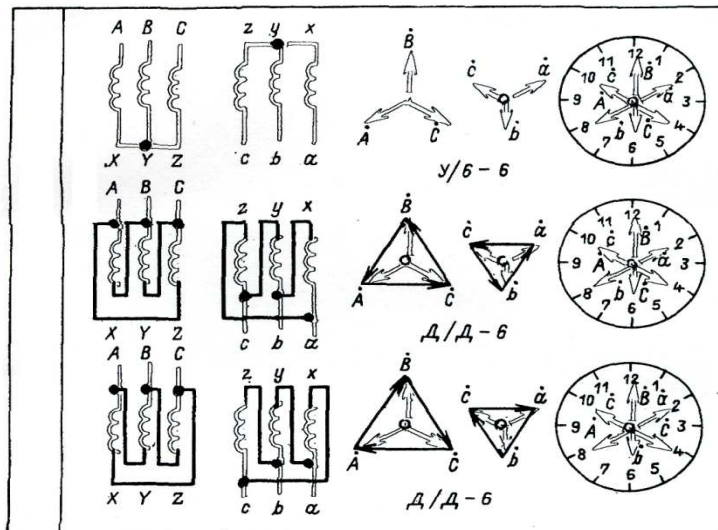


Рис.6.1. – Приклади утворення груп з'єднань трансформатора (групи 0 та 5 годин)

Група 6 годин (180°)



Група 11 годин

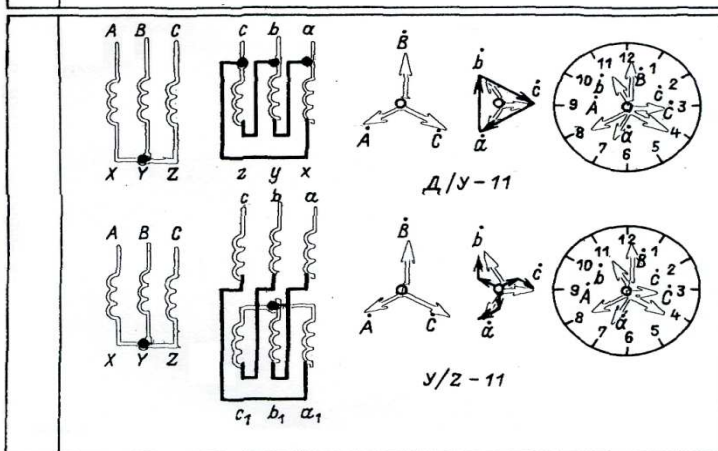


Рис.6.2. – Приклади утворення груп з'єднань трансформатора (групи 6 та 11 годин)

дають однаковий зсув векторів однойменних напруг, що видно по відповідним “годинам”, тобто вони показують один і той же час.

Таким чином декілька схем, які дають однаковий зсув, утворюють групу з'єднання, тобто вторинні напруги однойменних фаз усіх трансформаторів, що мають одну і ту ж групу з'єднання – співпадають по фазі і їх можна з'єднувати паралельно, не ризикуючи отримати зрівняльний струм.

Основних груп може бути дванадцять (1 год, 2 год....12 год) по числу цифр на циферблату годинника. Це пояснюється тим, що вектори первинних і вторинних напруг в залежності від схеми з'єднання обмоток і їх розміщення на осерді можуть мати зсув кратний  $30^\circ$ .

Тобто, групі 1 год. відповідає зсув  $30^\circ$ , групі 2 год. –  $60^\circ$ , 3 год. –  $90^\circ$ , 4 год. –  $120^\circ$  ін. Зсув в  $360^\circ$  або відсутність зсуву, тому що  $360^\circ$  і  $0^\circ$  – одне і теж і маємо групу 12 або 0 год. При зсуві 6 год. вектори напруг однойменних фаз первинних і вторинних обмоток спрямовані прямо протилежно.

Парні групи (2, 4, 6, 8, 10, 12) отримують, якщо обидві обмотки високої сторони і низької напруги мають однакові з'єднання - обидві в зірку або в трикутник. З'єднання однієї обмотки в зігзаг – зірку при іншій обмотці, з'єднаної в зірку, або в трикутник, дає теж парні групи.

Непарні групи (1, 3, 5, 7, 9, 11) отримують, якщо обидві обмотки з'єднані в групу, інша в трикутник, а також, якщо одна обмотка з'єднана в зігзаг – зірку, а друга в зірку.

Позначення групи з'єднань складається з двох частин: зліва від рисочки розміщують знаки або букви, які характеризують схему з'єднання обмоток, а праворуч – цифри, які вказують зсув в годинному позначенні.

На кресленні схеми з'єднань позначають знаками:

$\Upsilon$  - зірка,  $\Upsilon^\circ$  або  $\Upsilon^\circ$  - зірка з виведеною нульовою точкою;

$\Delta$  - трикутник;

$\Upsilon$  - зігзаг,  $\Upsilon^\circ$  або  $\Upsilon^\circ$  - зігзаг з виведеною нульовою точкою.

В текстових документах такі позначення незручно використовувати, тому прийняті наступні позначення:

У – замість  $\Upsilon$ ;  $U_N$  – замість  $\Upsilon^\circ$ ;

Д – замість  $\Delta$ ; Z – замість  $\Upsilon$ .

| Схеми з'єднання обмоток |    | Діаграми векторів ЕДС |    | Умовні позначення |
|-------------------------|----|-----------------------|----|-------------------|
| ВН                      | НН | ВН                    | НН |                   |
|                         |    |                       |    | $Y/Y_N-0$         |
|                         |    |                       |    | $Y/D-11$          |
|                         |    |                       |    | $Y_N/D-11$        |

а

| Схеми з'єднання обмоток |    |    | Діаграми векторів ЕДС |    |    | Умовні позначення |
|-------------------------|----|----|-----------------------|----|----|-------------------|
| ВН                      | СН | НН | ВН                    | СН | НН |                   |
|                         |    |    |                       |    |    | $Y_N/Y_N/D-0-11$  |
|                         |    |    |                       |    |    | $Y_N/D/D-11-11$   |

б

| Схеми з'єднання обмоток |    | Діаграми векторів ЕДС |    | Умовні позначення                 |
|-------------------------|----|-----------------------|----|-----------------------------------|
| ВН та СН                | НН | ВН та СН              | НН |                                   |
|                         |    |                       |    | $Y_N a \Delta \text{то} / D-0-11$ |

в

Рис.6.3. – Схеми і групи з'єднань обмоток:  
а) – трифазних двообмоткових трансформатора;

б) – трифазних трьохобмоткових трансформатора;

в)- трифазних трьохобмоткових автотрансформатора

Трьохобмоткові трансформатори позначають, наприклад,  $Y_H/U/D$  -12-11, або  $Y_H/U/D$  -0-11, тобто обмотка високої напруги з'єднана в зірку з виведеною нульовою точкою. Обмотка середньої напруги з'єднана в зірку, а обмотка низької сторони – в трикутник. Перше число 12 або 0 вказує на зсув в годинному позначенні, друге число 11 – вказує зсув між обмотками високої і низької напруги.

Основні варіанти схем і груп з'єднань обмоток трансформаторів і автотрансформаторів наведено на рис.6.3.

Для компенсації втрат напруги в мережах підвищувальні трансформатори мають на вищій стороні напругу на 10 % вище номінальної напруги мережі, а понижуючі - нижчу напругу, на 5-10 % вище номінальної напруги мережі. Кожен трансформатор характеризується номінальними даними: потужністю, струмами первинної і вторинної обмоток, втратами холостого ходу  $\Delta P_{xx}$ , втратами короткого замикання  $\Delta P_k$  (або втратами в міді  $\Delta P_m$ ), напругою короткого замикання  $u_k$ , струмом холостого ходу  $i_{xx}$  (або  $i_0$ ), а також групою з'єднання і видом охолодження.

### Опис лабораторної установки

Лабораторна установка містить дослідний трансформатор TV2, трифазний автотрансформатор TV1 і вимірювальні прилади.

### Послідовність виконання роботи.

1. Зібрати схему для дослідного визначення групи з'єднання (рис.6.4.). Схему з'єднання трансформатора задає викладач.

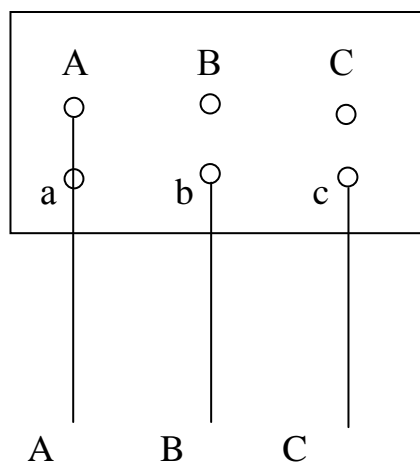


Рис. 6.4.- Схема для дослідного визначення групи з'єднання.

2. Виконати заміри напруги  $U_{bB}$ ,  $U_{cC}$ ,  $U_{cB}$ .

Таблиця 6.1. Виміряна напруга

| Напруга         | Величина | Порівняння | Група з'єднання | Примітка |
|-----------------|----------|------------|-----------------|----------|
| U <sub>BX</sub> |          |            |                 |          |
| U <sub>bB</sub> |          |            |                 |          |
| U <sub>cC</sub> |          |            |                 |          |
| U <sub>cB</sub> |          |            |                 |          |

3. Порівняти напруги U<sub>bB</sub> та U<sub>cC</sub>. Вони повинні бути однакові.

4. Визначити величина напруги U<sub>cB</sub> однакова (р), більша (б) чи менша (м) від U<sub>bB</sub>.

5. Визначити групу з'єднання трансформатора відповідно таб. 6.1.

Таблиця 6.2. Рівняння для визначення групи з'єднання.

| Група з'єднання | U <sub>bB</sub> =U <sub>cC</sub> | U <sub>cB</sub> |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|
| 12              | k - 1                            | -               |
| 1               | $\sqrt{k^2 - \sqrt{3}k + 1}$     | б               |
| 2               | $\sqrt{k^2 - k + 1}$             | б               |
| 3               | $\sqrt{k^2 + 1}$                 | б               |
| 4               | $\sqrt{k^2 + k + 1}$             | б               |
| 5               | $\sqrt{k^2 + \sqrt{3}k + 1}$     | р               |
| 6               | k + 1                            | -               |
| 7               | $\sqrt{k^2 + \sqrt{3}k + 1}$     | м               |
| 8               | $\sqrt{k^2 + k + 1}$             | м               |
| 9               | $\sqrt{k^2 + 1}$                 | м               |
| 10              | $\sqrt{k^2 - k + 1}$             | м               |
| 11              | $\sqrt{k^2 - \sqrt{3}k + 1}$     | р               |

### Зміст звіту.

Звіт повинний містити схеми проведення дослідів, отримані дані (табл.6.1), векторну діаграму напруг групи з'єднання трансформатора.

### Контрольні питання.

1. Перелічіть номінальні параметри, що характеризують трансформатор.
2. Поясніть розходження між аварійним режимом КЗ і дослідом «КЗ».
3. Назвіть необхідні умови для рівнобіжної роботи трансформаторів.
4. Методи перевірки можливості включення трансформаторів для рівнобіжної роботи.
5. Дайте характеристику групам з'єднання трансформаторів.
6. Класифікація трансформаторів по напрузі відповідно стандарту.
7. Умови вмикання силових трансформаторів на рівнобіжну роботу.
8. Перелічіть найбільш поширені групи з'єднань трансформаторів.
9. Умовні позначення груп з'єднань силових трансформаторів.



10. Мета та умови проведення досліду «ХХ» і «КЗ» силових трансформаторів.

11. Методи перевірки можливості включення трансформаторів для рівнобіжної роботи.

12. Дайте характеристику групам з'єднання трансформаторів з точки зору їх застосування на практиці, тобто в яких випадках доцільно застосовувати



13. За яких умов можливо включення для рівнобіжної роботи трансформатори різних груп з'єднання.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ЛЮКСМЕТРОВ

#### Мета роботи:

- придбання навичок експлуатації люксметрів;
- вивчення принципів побудови їх вентильних фотоелементів.

#### Короткі теоретичні відомості.

Діапазон електромагнітних хвиль охоплює близько 50 октав (октаві відповідає інтервал частот (або довжин хвиль), у якого відношення граничних частот дорівнює 1:2), з яких на видиме світло доводиться тільки одна октава. Цей діапазон хвиль від 390 до 770 нм і називають світлом у вузькому змісті слова.

Освітленістю  $E$  називається відношення світлового потоку до площі освітлюваної поверхні.

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2},$$

де  $E$  - освітленість, лк;

$I$  - сила світла, кд;

$r$  - відстань між джерелом світла й освітлюваною поверхнею, м;

$\alpha$  - кут між напрямком поширення світла й нормаллю до поверхні.

Для виміру освітленості використовується люксметр. Люксметр являє собою мікроамперметр, підключений до фотоелемента. Для узгодження спектральної чутливості фотоелемента із кривою видимості ока використовується фільтр.

Фотоелектричними датчиками називаються пристрої, що змінюють свої параметри при впливі на них світлової енергії. Достоїнствами фотоелектричних датчиків є їхня простота, малі габарити, висока чутливість і відсутність

механічного зв'язку із процесом перетворення. Основні характеристики фотоелектричних датчиків:

1. Світлова характеристика - залежність фотоструму від інтенсивності падаючого на фотоелемент світлового потоку.

2. Спектральна характеристика - залежність фотоструму від довжини хвилі падаючих променів при постійній освітленості.

3. Інерційна (частотна) характеристика - залежність фотоструму від частоти зміни інтенсивності падаючого світлового потоку.

4. Вольтамперна характеристика - залежність фотоструму від фотоелемента, що прикладається між електродами, напруги при постійному світловому потоці.

Крім зазначених характеристик, фотоелементи оцінюються по стабільності їхніх параметрів із часом (старіння) і при зміні температури робітничого середовища.

Фотоелементи знаходять широке застосування як датчики різних вимірювальних і регулюючих пристроїв для виміру й регулювання температури, рівнів, переміщень і швидкості, для сортування й відбраковування деталей тощо. Чутливість фотоелемента визначають як відношення збільшення фотоструму до збільшення світлового потоку:

$$S = \frac{\Delta I_{\Phi}}{\Delta \Phi}$$

Вона залежить від типу фотоелемента й величини навантажувального опору. Для підвищення чутливості фотоелементи можуть бути включені електрично послідовно один з одним.

Вентильні фотоелементи можуть працювати у двох режимах: фотогенераторному (вентильному) і фотодіодному. У фотогенераторному режимі джерело зовнішньої напруги відсутній. У фотодіодному режимі до фотодіода прикладена замикаюча напруга. При відсутності опромінення під дією цієї напруги проходить лише невеликий струм, а при висвітленні р-п - переходу струм збільшується залежно від інтенсивності опромінення. Вентильні фотоелементи використовуються, в основному, у діодному режимі, тобто із зовнішнім джерелом напруги, підключеним до фотоелемента у зворотному напрямку. При такому включенні потенційний бар'єр зростає й визначається зовнішньою напругою. Умова проникнення неосновних носіїв через р-п - перехід істотно полегшується, а зворотний опір цього переходу різко зростає. У результаті зростає чутливість, а світлові характеристики стають лінійними в широкому діапазоні світлових потоків. Найбільше поширення одержали кремнієві й германеві фотодіоди.

#### **Люксметр. Призначення, принцип побудови.**

У даній роботі досліджується промисловий люксметр типу Ю-116 з вентильним фотоелементом ФЗСС-2. Вентильний фотоелемент являє собою напівпровідниковий діод (рис. 7.1), чутливим елементом якого є

напівпровідник р-типу, на якому спеціальною обробкою утворений тонкий шар напівпровідника п-типу, і поділяючий їх найтонший запірний шар, названий р-п - переходом.

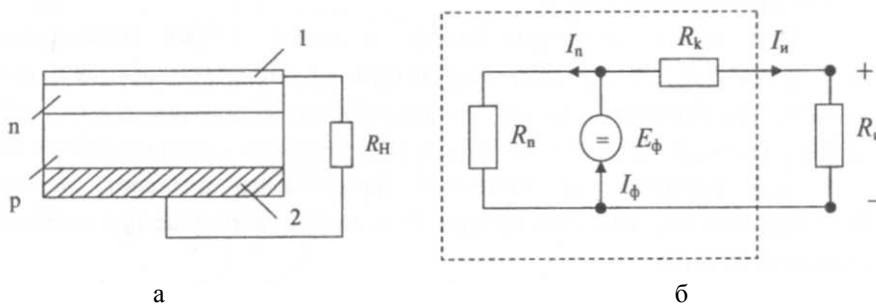


Рис. 7.1 - Вентильний фотоелемент і його еквівалентна схема

Зверху напівпровідник покритий напівпрозорим металевим шаром або сіткою 1 зі срібла, золота або платини, що служить верхнім електродом. Нижнім електродом є металева підстава 2. Під дією світлового потоку, що проникає через напівпрозорий електрод і тонкий шар п-напівпровідника, внаслідок фотоефекта в р-напівпровіднику утвориться підвищена концентрація електронно-діркових пар. Електрони захоплюються потенційним бар'єром на границі р-п-переходу й безперешкодно проникають у шар п-напівпровідника, заряджаючи його негативно, а дірки, що залишилися в р-напівпровіднику, заряджають його позитивно. У результаті цього процесу між електродами виникає різниця потенціалів, значення якої залежить від інтенсивності світлового потоку й інтегральної чутливості фотоелемента.

Якщо до електродів освітлюваного вентильного фотоелемента підключити опір навантаження  $D$ , то під дією виниклої фото-ЕРС у ланцюзі протікатиме електричний струм, що, як це видно з еквівалентної схеми фотогенератора (рис. 7.1), дорівнюватиме:

$$I_n = I_\phi \frac{R_n(\Phi)}{R_n(\Phi) + R_k + R_H} = \frac{K \cdot \Phi}{1 + \frac{(R_k + R_H)}{R_n(\Phi)}}$$

де  $R_n(\Phi)$  - внутрішній опір фотоелемента, що є функцією світлового потоку;

$R_k$  - опір контактів;

$I_\phi = K\Phi$  - первинний фотострум, порушуваний у фотогенераторі (вентильному фотоелементі).

Слід зазначити, що вентильні фотоелементи володіють великий інерційністю, через це вони можуть бути використані лише при постійних світлових потоках.

Як приклад у таблиці 5.1 наведені основні технічні характеристики

Таблиця 5.1- Основні параметри вентиляного фотоелемента ФЗСС-2  
вентильного фотоелемента ФЗСС-2 (зірчасто-срібний).

| Тип фотоелемента | Інтегральна чутливість, мкА/лм | Внутрішній темновий опір, Ом | Максимальна частота, Гц | Фото-ЕРС, мВ |
|------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------|
| ФЗСС-2           | 3500...8000                    | 1500...3000                  | 5...10...10             | 60 150       |

Люксметр Ю-116 дозволяє вимірювати освітленість у діапазоні від 5 до 100 лк. Існує дві основних межі вимірів: (5 - 30 ) лк і (17 - 100 ) лк. Вибір межі здійснюється дискретно. На рис. 7.2 зображена передня панель люксметра Ю-116.

Фіксацією кнопок 1 або 2 можна вибрати необхідну межу вимірів. Розширення межі здійснюється за допомогою світлофільтрів М10, М100, М1000, позначених на рисунку (К, М), (К, Р) і (К, Т) відповідно.

Функціональна схема люксметра Ю-116 представлена на рис. 7.2.

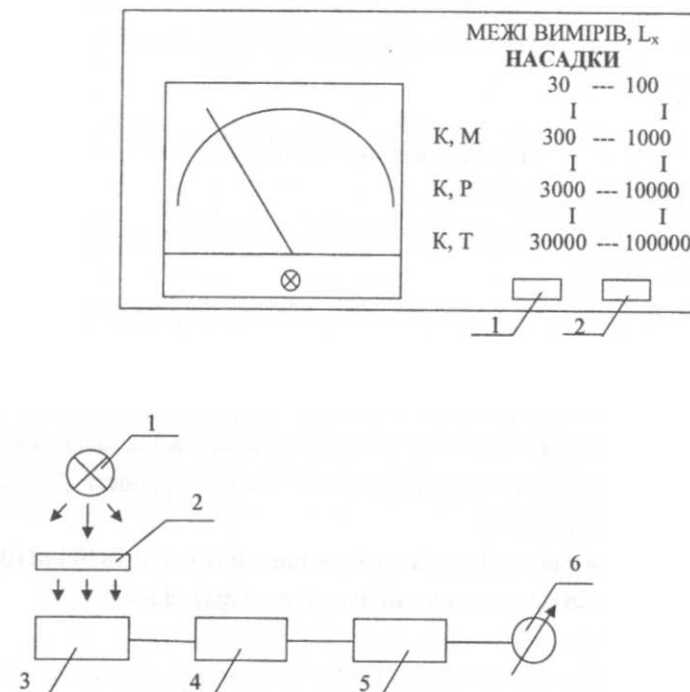


Рис. 7.2 - Передня панель люксметра Ю-116 та функціональна схема пристрою для дослідження люксметра Ю-116 1 - джерело світла; 2 - світлофільтр; 3 - вентиляний фотоелемент; 4 - дільник напруги; 5 - підсилювач; 6 - мікроамперметр.

**Дослід 1.** Визначення залежності освітленості від відстані між джерелом світла й освітлюваною поверхнею при  $U = \text{const}$ .

Функціональна схема лабораторного макета представлена на рисунку 7.4 і складається з латру 1, цифрового вольтметра 2, фотозбільшувача 3, фотоелемента 4, люксметра з набором фільтрів 5.

Даний макет дає можливість одержати залежності освітленості від відстані між джерелом світла й освітлюваною поверхнею, освітленості від живлячої напруги.

### Порядок виконання досліду

1. Зібрати схему (рис. 7.3).
2. Перевести вимірювальний прилад у режим «V ~» і встановити межу вимірювання 1000 В.
3. Після перевірки зібраної схеми викладачем, включити прилад у мережу.
4. За допомогою латру встановити на вимірювальному приладі значення напруги 220 В.
5. Крок і діапазон переміщення джерела світла задає викладач.
6. Змінюючи значення висоти  $k$  зняти залежність ( $E$ ) і результати занести до табл. 7.2.
7. Повторити дослід з використанням фільтрів M10 і M100.
8. За результатами вимірів побудувати графіки.

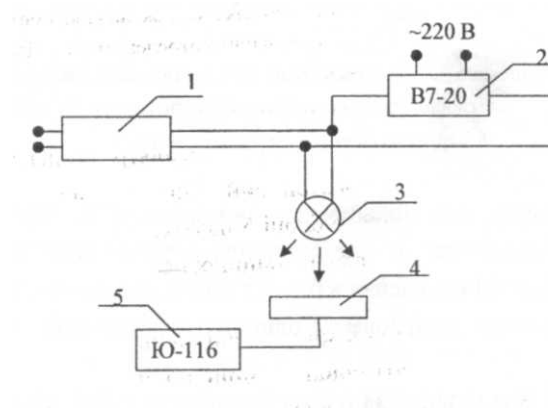


Рис. 7.3 - Функціональна схема лабораторного макета

Таблиця 7.2

| Режим роботи: $U = 220$ В              |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| к, см                                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Е, лк                                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Режим роботи: $U = 220$ В, фільтр M10  |  |  |  |  |  |  |  |
| к, см                                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Е, лк                                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Режим роботи: $U = 220$ В, фільтр M100 |  |  |  |  |  |  |  |
| к, см                                  |  |  |  |  |  |  |  |
| Е, лк                                  |  |  |  |  |  |  |  |

**Дослід 2.** Визначення залежності освітленості джерела світла від  $U$  при  $k = \text{const}$ .

Таблиця 7.3 - Результати 2 дослідю.

| Режим роботи: $k = \dots$ см |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| U, в                         |  |  |  |  |  |  |  |
| E, лк                        |  |  |  |  |  |  |  |

### Оформлення звіту.

У звіті повинні бути наведені співвідношення, що описують заданий режим роботи люксметра, принципова схема лабораторного макета, таблиці, графіки залежностей.

#### Контрольні запитання

1. Люксметр. Призначення. Принцип побудови.
2. Вентильний фотоелемент. Принцип побудови.
3. Пояснити отримані графіки залежностей.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Споживачі електроенергії (Лекції для студентів 4 курсу денної, заочної та другої вищої освіти форм навчання спеціальності 7.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання»). Укл. Ю. П. Кравченко, М. Л. Лисиченко, О. В. Саприка. – Харків: ХНАМГ. 2011. – 120с.
2. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Учебник для вузов.- М.; Высш. шк., 1984. – 559 с.
3. Електропостачання міст. Навч. посібник. / Ю. М. Блажко. – К.: НМКВО, 1992. - 256с.
4. Проектирование систем электроснабжения электрических железных дорог/Под общ. ред. Л. М. Перцовского.-М.; Трансжелдориздат, 1963. – 471 с.
5. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. – 3–е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
6. Электротехнические промышленные установки. Учебник для вузов / Под ред. А. Д. Свенчанского. – М.: Энергоиздат, 1982. – 356 с.
7. Інформаційні технології проектування вимірювальних перетворювачів/ С. И. Кондратов, В. К. Гусельников и др. – Х.: НТУ «ХПИ», 2009. 279с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт  
з курсу

**«СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ»**

(для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання, та слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології», 0906 – «Електротехніка» зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання»)

Укладачі **КРАВЧЕНКО** Юрій Петрович  
**САПРИКА** Олександр Вікторович

Відповідальний за випуск *П.П. Рожков*  
За авторською редакцією  
Комп'ютерне верстання *О. А. Балашова*

План 2011, поз. 244 М

---

Підп. до друку. 20.09.2011  
Друк на ризографі.  
Тираж 50 пр.

Формат 60 x 84/16  
Ум. друк. арк. 2,82  
Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК №4064 від 12.05.2011 р.