

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни**

«СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ»

*(для студентів усіх форм навчання
освітнього рівня «бакалавр» спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електротехнології)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019**

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Споживачі електричної енергії» (для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електротехнології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. М. Охріменко, А. О. Карюк. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 38 с.

Укладачі : канд. техн. наук, доц. В. М. Охріменко,
ст. викл. А. О. Карюк

Рецензент

В. А. Маляренко, доктор технічних наук, професор кафедри електропостачання та електроспоживання міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 9 від 20.05 2019.

ЗМІСТ

Порядок виконання лабораторних робіт	4
Лабораторна робота № 1 Побутові кондиціонери та спліт системи	5
Лабораторна робота № 2 Дослідження характеристик електроосвітлювальних приладів	12
Лабораторна робота № 3 Дослідження пускових характеристик електроосвітлювальних приладів.....	19
Лабораторна робота № 4 Дослідження неповнофазного режиму роботи асинхронного електродвигуна	22
Лабораторна робота № 5 Дослідження характеристик стабілізаторів	26
Лабораторна робота № 6 Дослідження характеристик фотогальванічного джерела живлення	32
Список рекомендованої літератури	38

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мета цих методичних вказівок – надати допомогу студентам у виконанні і захисті лабораторних робіт, у процесі яких вони знайомляться з конструкціями, вивчають принципи дії і досліджують характеристики характерних груп електроприймачів:

- побутових кондиціонерів і спліт систем;
- освітлювальних приладів;
- асинхронних електродвигунів;
- стабілізаторів напруги;
- автономних фотогальванічних джерел живлення.

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

Виконувати роботу студенти можуть тільки після одержання дозволу керівника лабораторних занять.

Перед збиранням електричної схеми установки необхідно переконатися, що вмикачі, що подають напругу, вимкнені. Збирання електричних ланцюгів установки, перевірка правильності всіх з'єднань виконують за електричною схемою.

Під час виконання експериментальної частини роботи необхідно дотримуватися таких правил безпеки:

- забороняється торкатися відкритих струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- змінювати електричну схему дозволяється тільки після відключення установки від джерела живлення;
- у разі виникнення несправності в приладах і устаткуванні негайно відключити всю схему від джерела живлення і повідомити про це викладача;
- після закінчення роботи необхідно відключити установку.

Результати вимірів, отримані під час дослідів, студенти заносять у таблиці спостережень. Результати досліджень пред'являються викладачу, погоджується повнота і коректність отриманих результатів.

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

Лабораторна робота № 1

ПОБУТОВІ КОНДИЦІОНЕРИ ТА СПЛІТ СИСТЕМИ

Мета роботи. Ознайомити студентів із конструкціями, характеристиками та роботою побутових кондиціонерів; дослідити режим роботи кондиціонера БК-1500.

Теоретичні відомості

У теплових насосах (ТН) використовується принцип Кельвіна (компресійні і абсорбційні ТН), або ефект Пельтьє (напівпровідникові ТН). У них електроенергія витрачається на передачу тепла від менш нагрітого тіла до більше 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 до більш нагрітого (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 залежно від напрямку струму деяка кількість тепла, пропорційна величині струму.

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

У побутових кондиціонерах і 90 % побутових холодильників використовується компресійний ТН, схема якого показана на рисунку 1.1.

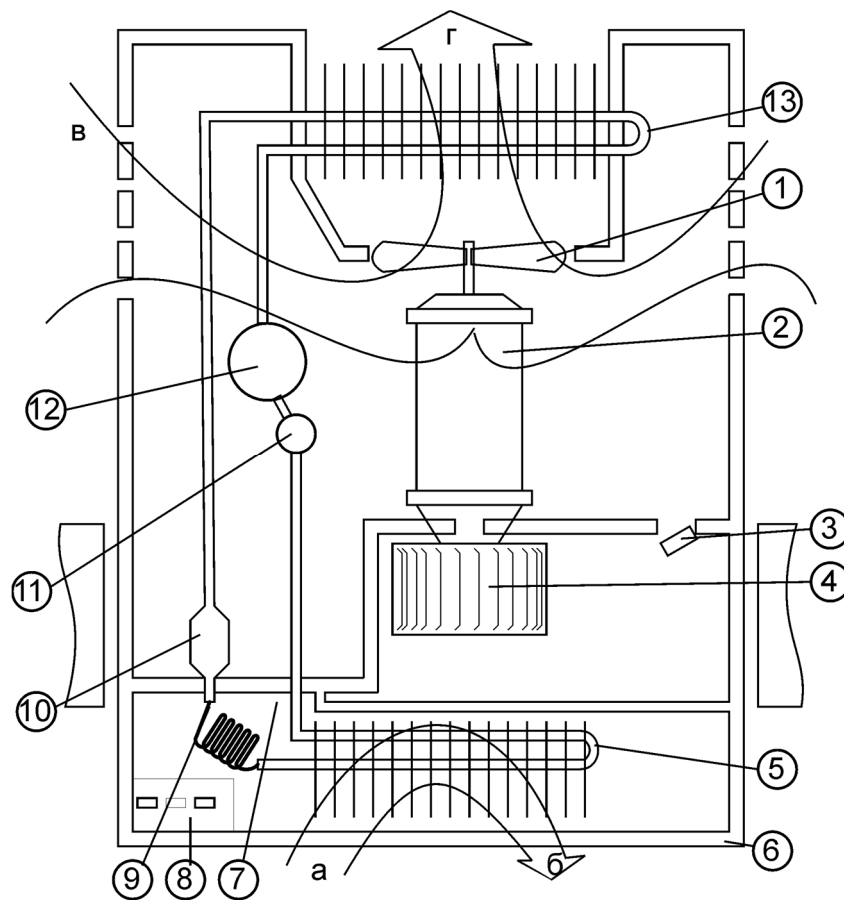


Рисунок 1.1 – Побудова кондиціонера БК-1500

Усі вузли кондиціонера змонтовані на металевій основі. Металевою перегородкою, привареною до основи, 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, розширювача 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 ґратки 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 ґратки.

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.

Розглянемо типову для компресійних теплових насосів електричну схему побутового кондиціонера БК-1500, наведену на рисунку 1.2.

Побутовий кондиціонер за типом захисту від ураження електричним струмом відноситься до електроприладів класу I, тому з'єднується з електричною мережею знімним гнучким шнуром із заземлюючим проводом і штепсельною вилкою Х4 з заземлюючим контактом. Заземлюючий провід з'єднаний усередині корпусу кондиціонера з усіма частинами, доступними для дотику, відділеними основною ізоляцією від частин, що знаходяться під напругою.

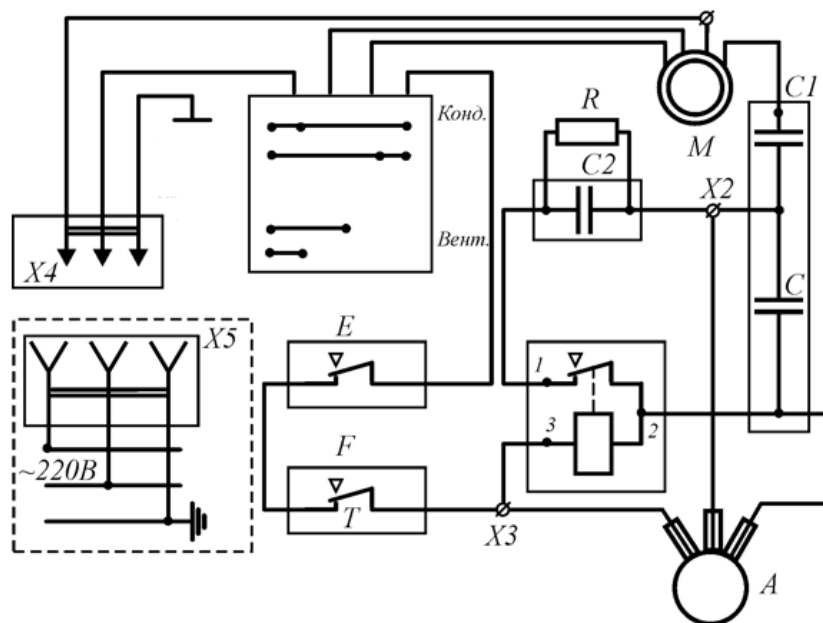


Рисунок 1.2 – Схема кондиціонера БК-1500

На електричній схемі кондиціонера БК-1500 позначені такі елементи:

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

A – компресор типу ГрВ1,75 з двофазним конденсаторним асинхронним двигуном (надалі – 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, 60 мкФ ± 20 %;

K – реле напруги типу РНК-1УЗ, 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 температуро-струмкове, типу ТТЧ-1УЗ, встановлено на АД компресора, його контакт F здійснює захист від перевантаження або порушення функціонування і перегріву АД ;

E – реле температури типу Т178Б, паро рідинне термореле, капілярна трубка якого з хладоном 9 розташована на випарнику (рис. 1.1); контакт термореле *E*, показаний на електричній схемі (рис. 1.2), відключає АД компресора після охолодження радіатора випарника відповідно до встановленого режиму; ручка термореле виведена на пульт керування 8 (рис. 1.1) і дозволяє регулювати температуру приміщення;

П - перемикач режиму; при положенні кондиціонування «сильно» двигун *M* вентилятора включається на максимальні обороти.

Опис лабораторного устаткування

Схема лабораторного устаткування (рис. 1.3) містить кондиціонер типу БК-1500. Для дослідження двофазного конденсаторного двигуна компресора основні вузли підключення *X2*, *X3*, *1* цього двигуна виведені на панель стенда. На схемі прийняті позначення: *K* – пускове реле; *C2*, *C* - пусковий і робочий конденсатори; *KO*, *PO* – конденсаторна і робоча обмотки двигуна компресора.

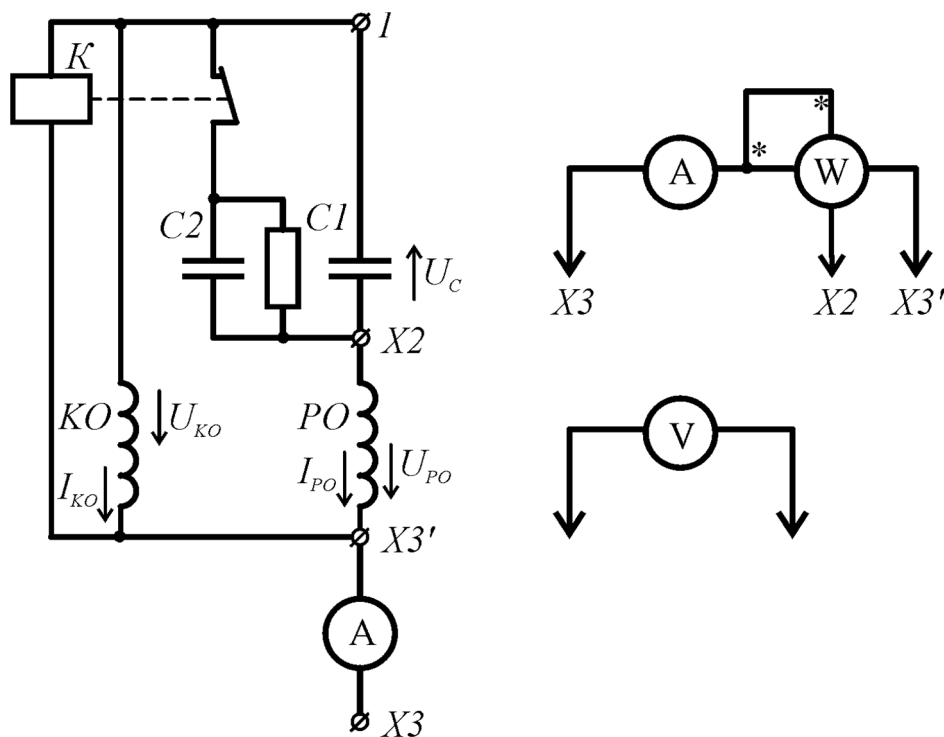


Рисунок 1.3 – Схема лабораторного устаткування.

Вказівки щодо виконання лабораторної роботи

1. Вивчити пристрій (рис. 1.1) та схему (рис. 1.2) побутового кондиціонера БК-1500.

2. Провести виміри наступних параметрів режиму кондиціонера БК-1500: I – сталий струм кондиціонера; $P_{\text{вх}}$ – потужність кондиціонера; $U_{\text{р.о.}}$ – напруга робочої обмотки; $U_{\text{к.о.}}$ – напруга конденсаторної обмотки; $U_{\text{к}}$ – напруга на робочому конденсаторі. Результати вимірів занести до таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Параметри режиму кондиціонера БК-1500

№ іспиту	Виміряно					Розраховано						
	I , А	$P_{\text{вх}}$, Вт	$U_{\text{р.о.}}$, В	$U_{\text{к.о.}}$, В	$U_{\text{к}}$, В	$I_{\text{к.о.}}$, А	$S_{\text{вх}}$, ВА	$Q_{\text{вх}}$, вар	$Q_{\text{с}}$, вар	$Q_{\text{дв}}$, вар	$\varphi_{\text{дв}}$, град	β , град
1												
2												

3. Розрахувати наступні параметри режиму кондиціонера і записати до таблиці 1.1.

Струм конденсаторної обмотки двигуна компресора:

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

Потужності кондиціонера (повна і реактивна):

$$S_{\text{вх}} = U_{\text{р0}} I; \quad Q_{\text{вх}} = \sqrt{S_{\text{вх}}^2 - P_{\text{вх}}^2}.$$

Реактивні потужності конденсатора і двигуна:

$$Q_c = U_c I_{k0}; \quad Q_{\text{дв}} = Q_{\text{вх}} + Q_c.$$

Кут зсуву фаз між струмом і напругою робочої обмотки:

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

Кут зсуву фаз між струмами робочої і конденсаторної обмоток β побудувати графічним шляхом.

4. Оформити звіт з лабораторної роботи.

У звіті надати схеми: рисунки 1.1 – 1.3; таблицю 1.1. Побудувати векторну діаграму напруг і струмів на елементах побутового кондиціонера БК-1500.

У теоретичній частині звіту навести короткий опис кондиціонера (призначення, основні технічні характеристики; функції складових пристрою кондиціонера).

Запитання для самоконтролю

1. Який пристрій називають тепловим насосом?
2. Поясніть принцип дії компресійного ТН.
3. Поясніть принцип дії термоелектричного ТН.
4. Які функції випарника і розширювача?
5. Для чого призначені конденсатор і компресор?
6. Як установлюють режим роботи кондиціонера?
7. В яких режимах може працювати побутовий кондиціонер?
8. Як здійснюються режими вентиляції?
9. Як здійснюються режими кондиціонування?
9. Як здійснюється пуск АД вентилятора і компресора?
10. Як регулюється температура кондиціонування?
11. Як виконується захист АД компресора від перевантаження?
12. Для чого призначене реле напруги?
13. Чим відрізняються робочий і пусковий конденсатори?
14. Чим відрізняються режими роботи АД вентилятора і компресора?
15. Чому пуск АД вентилятора можливий без пускового конденсатора?

Лабораторна робота № 2
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ЕЛЕКТРООСВІТЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета роботи. Вивчити конструкції і особливості фізичних процесів в електроосвітлювальних приладах, дослідити їхні характеристики.

Короткі теоретичні відомості

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 затискачах не менше $T = 10\ 000$ г. 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 ЛЛ необхідно враховувати головну їхню особливість як навантаження мережі – дуговий розряд. Для функціонування ЛЛ необхідна складна пускорегулююча апаратура (ПРА), що забезпечує первісне утворення дуги та її стабілізацію у сталому режимі.

Схема однолампової ПРА наведена на рисунку 2.1:

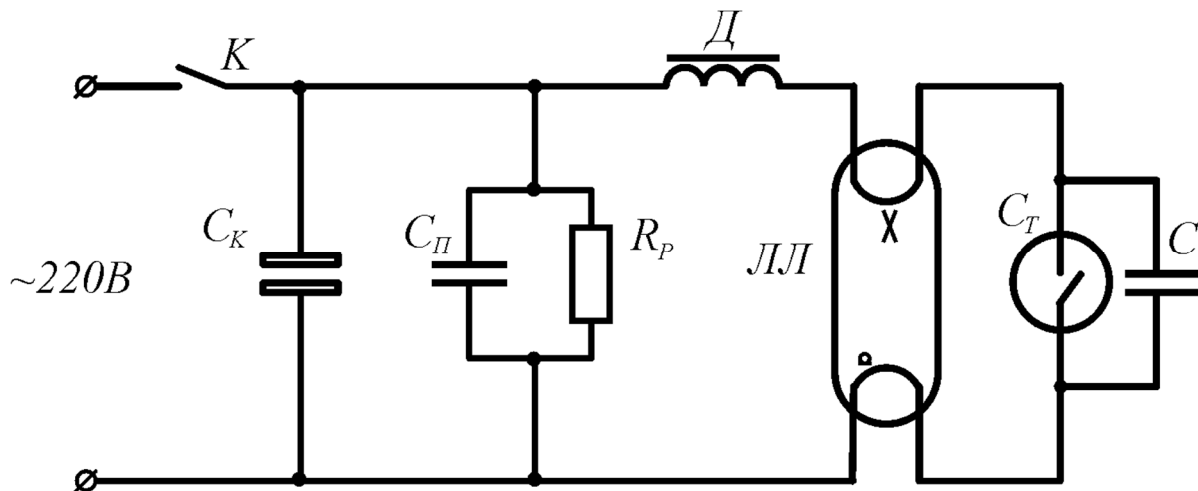


Рисунок 2.1 – Схема ПРА люмінесцентної лампи

На схемі (рис. 2.1) прийняті такі позначення:

C – конденсатор електролітичний, двополярний ємністю 4мкф, призначений для підвищення коефіцієнта потужності;

$C_{\text{П}}$ – конденсатор перешкодогасячий, паперовий ємністю 0,01мкф;

$R_{\text{Р}}$ – розрядний резистор опором 1 МОм;

D – дросель;

ЛЛ – люмінесцентна лампа потужністю 40 Вт;

$C_{\text{Т}}$ – стартер – неонова лампа з біметалічним контактом;

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

Робота ПРА полягає в наступному. Після замикання ключа K відбувається пуск ЛЛ який можна поділити на три стадії:

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

струмом, що замикається через контакт $C_{\text{Т}}$, розігріваються спіралі ниток розжарювання до 800 °С и відбувається частковий розряд, який іонізує пари ртуті;

розмикається контакт C_T , оскільки тліючий розряд припинився і біметалічна пластина остигнула; струм переключається 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 номінальної 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. 2.2, а) форма фазних напруг (рис. 2.2, 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. 2.2, в), складається. Діюче значення струму в нульовому проводі може складати 0,85 номінального струму. Таким чином, необхідно враховувати, що освітлювальні газорозрядні прилади генерують вищі гармоніки (в основному треті) в електричну мережу; перевантажують нульовий провід складовою нульової послідовності. Тому переріз нульового проводу мережі, що живить газорозрядні лампи, слід обирати рівним перерізу фазних проводів.

Коли 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.

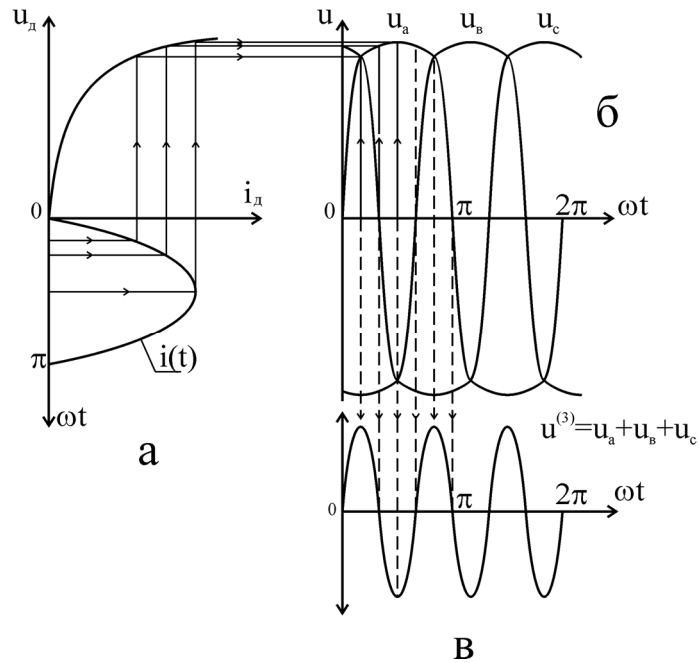


Рисунок 2.2 – Третя гармоніка у нульовому провіднику

Опис лабораторного устаткування

Схема лабораторного устаткування наведена на рисунку 2.3. До трифазної мережі живлення 380/220 В підключено три люмінесцентні лампи потужністю 40 Вт з ПРА 1УБН-40/220. На схемі (рис. 2.3) прийняті такі позначення:

R, R_n – малі активні резистори, що використовуються для зняття осцилограм струмів;

S_4 – двофазний перемикач, що дозволяє встановлювати однофазний (S_4 – відключений), або трифазний режим (S_4 – включений);

S_1, S_2, S_3 – перемикачі, що підключають конденсатори C_a, C_b, C_c , які компенсують реактивну потужність

D_1, D_2, D_3 – дроселі;

$ЛЛ$ – люмінесцентні лампи;

C_T – стартери;

$A_1, A_2, A_3, B_3, C_3, N, N_3$ – клеми для вмикання вимірювальних ланцюгів.

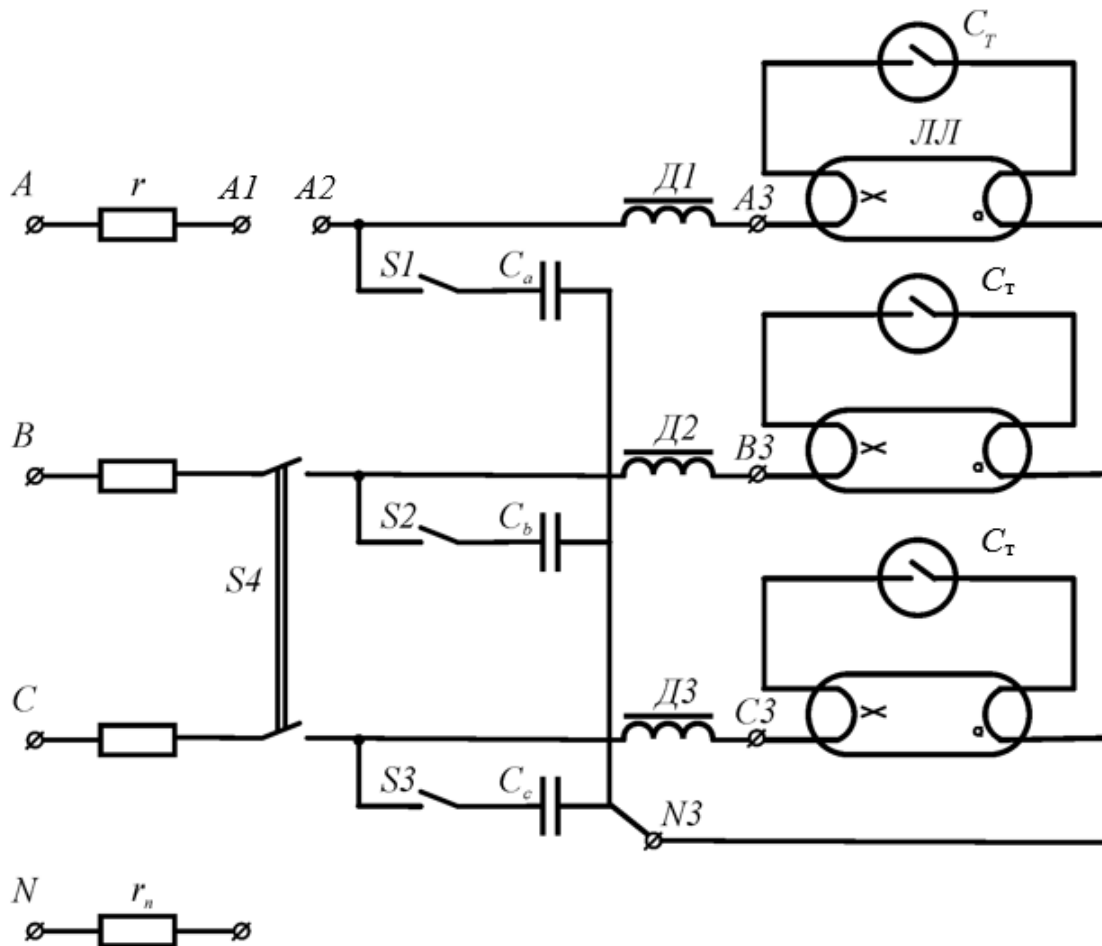


Рисунок 2.3 – Схема лабораторного стенду

При виконанні роботи використовують прилади і вимірювальні ланцюги, наведені на рисунку 2.4.

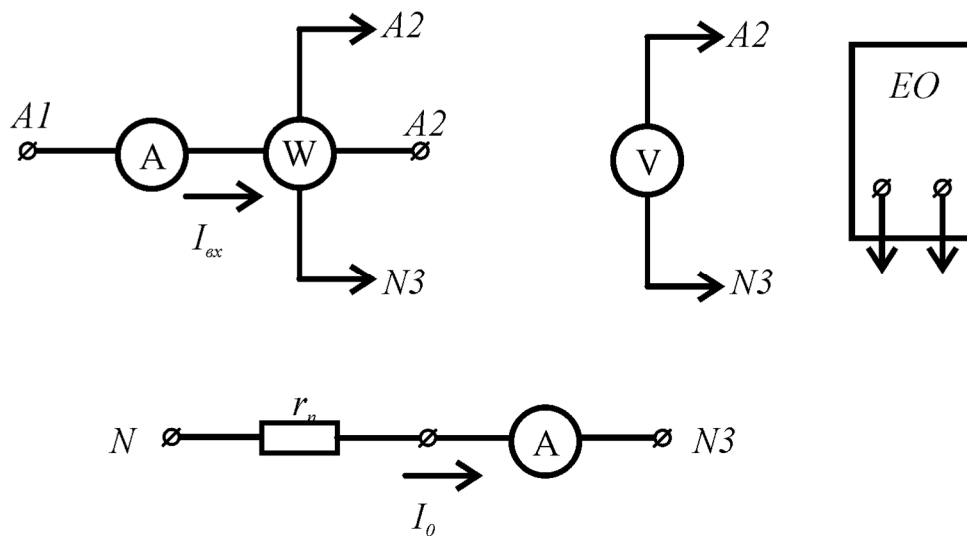


Рисунок 2.4 – Схема вмикання вимірювальних приладів

Вказівки до виконання роботи

Вивчити устаткування стенда (у звіті навести схему стенда).

Досліджувати однофазний режим для двох випадків:

без конденсатора C_a (перемикач $S1$ у нижньому положенні);

при включеному конденсаторі C_a ($S1$ увімкнута).

Для виконання досліду двофазний вимикач $S4$ відключити (2 лампи не повинні горіти), зібрати вимірювальні ланцюги, підключивши їх у точках стенда, вказаних на рисунку 2.4.

Результати вимірів занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Дослідження однофазного режиму

Режим	Виміряно							Обчислено		
	$I_{вх},$ А	$U_{A2,N3},$ В	$P_{вх},$ Вт	$U_{A2,A3},$ В	$P_{др},$ Вт	$U_{A3,N3},$ В	$P_{л},$ Вт	$S_{вх},$ ВА	$\cos \varphi,$ в.о.	$\varphi,$ град
Без конденсатора										
З конденсатором										

Перевірити графічно виконання другого закону Кірхгофа;

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

Порівняти кути φ і φ_2 , де кут φ знайдений за коефіцієнтом потужності, а φ_2 – графічним шляхом.

Зняти осцилограми напруг на лампі й дроселі. Пояснити їх і якісно зарисувати.

Досліджувати трифазний режим освітлювального навантаження газорозрядних ламп: без конденсаторів і при включених конденсаторах ($S1, S2, S3$ у верхньому положенні).

Виміряти величини, зазначені в таблиці 2.2:

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

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

$U_{N,N3}$ – напруга між нейтралі мережі і навантаження (вимірюється при розриві ланцюга нульового проводу).

Таблиця 2.2 – Дослідження трифазного режиму

Режим	Виміряно				Обчислено			
	$I_{\text{вх}}$, А	$I_{\text{а тр}}$, А	$I_{0\text{ дв}}$, А	$U_{N,N3}$, У	$\frac{I_{0.\text{тр}}}{I_{\text{вх}}}$	$\frac{I_{0.\text{дв}}}{I_{0.\text{тр}}}$	Z_H , Ом	$Z_H^{(3)}$, Ом
Без конденсатора								
З конденсатором								

Опір навантаження визначають за даними таблиці 2.1:

$$Z_H = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}}.$$

Зняти осцилограму струму нульового проводу, підключивши осцилограф до затискачів резистора r_n .

Оформлення звіту

У звіті навести рисунки 2.3 і 2.4 і таблиці 2.1 і 2.2 з результатами вимірів і обчислень.

У теоретичній частині навести матеріали самостійного вивчення схеми однолампової ПРА (рис. 2.1) і часових діаграм (рис. 2.2).

Запитання для самоконтролю

1. Які переваги люмінесцентних ламп перед лампами розжарювання?
2. Поясніть призначення елементів схеми стартерного вмикання люмінесцентних ламп.

3. Які фактори визначають величину струмів третьої гармоніки в нульовому проводі?
4. Чому люмінесцентні лампи мають стробоскопічний ефект?
5. Як можна обмежити стробоскопічний ефект люмінесцентних ламп?
6. Який переріз повинен бути в нульового проводу електричної мережі, що живить освітлювальну трифазну установку з газорозрядними лампами?
7. Роль дроселя у сталому режимі .
8. Як впливають конденсатори, що компенсують, на режим мережі, яка живить газорозрядні прилади?

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

Мета роботи. Вивчити пускові характеристики газорозрядних приладів і ламп розжарювання, порівняти їх зі сталим режимом.

Короткі теоретичні відомості

Термін служби освітлювальних приладів залежить в основному від числа їхніх вмикань, тобто від кількості пусків. Це пов'язано з наявністю інерційного елемента – ниток розжарювання у ламп розжарювання і газорозрядних приладів. 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. Тому в лабораторній роботі пусковий режим моделюється як сталий.

Опис лабораторного устаткування

Для дослідження характеристик пускового режиму люмінесцентної лампи використовують устаткування стенда лабораторної роботи 2 (рис. 2.3). Перемикач $S4$ відімкнений, для моделювання першого етапу пуску фази A її стартер потрібно закортити.

Для дослідження характеристик ламп розжарювання використовується устаткування стенда, схема якого наведена на рисунку 3.1, де встановлені понижувальний трансформатор Tr напругою 220/24 В і розетка P для ввімкнення лампи розжарювання.

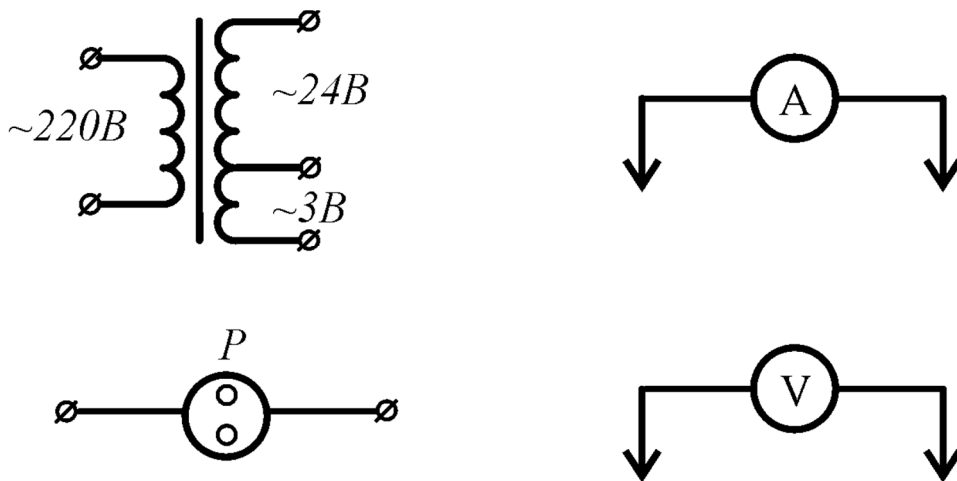


Рисунок 3.1 – Схеми підключення елементів дослідження

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Порівняти характеристики і параметри сталого і пускового режимів люмінесцентної лампи. Результати занести до таблиці 3.1 (при моделюванні пускового режиму закортити ланцюг стартера).

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 таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень люмінесцентної лампи

Режим	Виміряно				Обчислено			
	$U_{вх},$ В	$U_{др},$ В	$U_n,$ В	$I,$ А	$X_{др},$ Ом	$r_{нак},$ Ом	$z,$ Ом	$k_n,$ в.о.
Сталий								
Пусковий								

Таблиця 2.2 – Результати досліджень лампи розжарювання

Режим	Виміряно		Обчислено			
	$U,$ В	$I,$ А	$P,$ Вт	$r,$ Ом	$I_n,$ А	$k_n,$ в.о.
220						
127						
24						

Пусковий струм знаходять за відношенням

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

де r_x – опір «холодної» нитки розжарювання, прийнятий з результатів третього досліду (при $U = 24$ В).

Оформлення звіту

У звіті навести схему стенда (рис. 3.1), таблиці 3.1 і 3.2 з результатами вимірювань і обчислень, вольт-амперну характеристику $U = f(I)$ лампи розжарювання.

Запитання для самоконтролю

1. Як впливає частота вмикань на термін служби освітлювальних приладів?
2. Чому не рекомендується груповий пуск ламп розжарювання?
3. Основний фактор збільшення пускового струму газорозрядних приладів.
4. Чому люмінесцентна лампа не працює без ПРА?
5. Яке призначення дроселя в пусковому режимі?
6. Чому тривалість пуску газорозрядних приладів значно більша, ніж ламп розжарювання?

Лабораторна робота № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕПОВНОФАЗНОГО
РЕЖИМУ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Мета роботи – дослідження параметрів і характеристик АД у неповнофазному режимі роботи.

Короткі теоретичні відомості

Режим роботи трифазного АД у випадку обриву однієї з фаз в процесі роботи двигуна називається неповнофазним. У цьому випадку двигун може зберігати працездатність, але фази, що залишились у роботі, перевантажені, зменшується запас стійкості, не забезпечується самозапуск двигуна.

Припустимо, що момент на валу двигуна рівень номінальному. Будемо вважати, що потужність яка споживається з мережі у однофазному режимі залишиться попередньою, що виконується коли двигун зберігає працездатність і розвиває попередній момент. У цьому випадку:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{0.ф.}, \quad I_{0.ф.} = \sqrt{3} \cdot I. \quad (4.1)$$

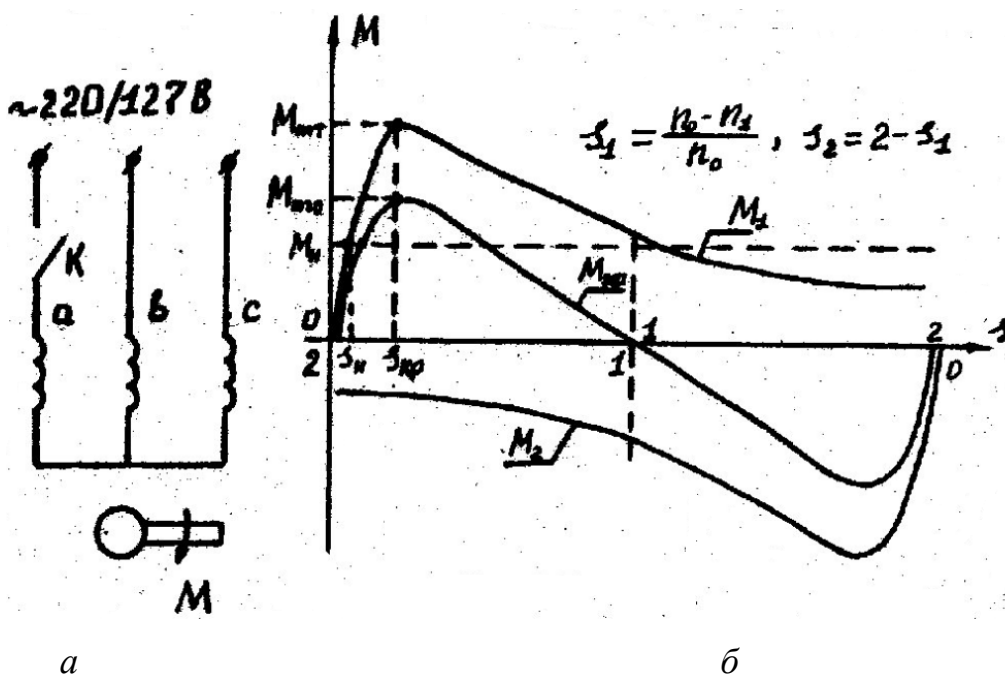


Рисунок 4.1 – Схема та характеристики АД у неповнофазному режимі

Із (4.1) бачимо, що струм фаз, які залишились у роботі, збільшується у $\sqrt{3}$ раз. Якщо двигун був недовантажений, то тепловий захист не спрацює, і неповнофазний режим своєчасно не буде виявлено.

Для пояснення зменшення запасу стійкості, розглянемо і порівняємо механічні характеристики для трифазного $M_1 = f(s_1)$ та однофазного $M_{\text{оф}} = f(s_1)$ режимів (див. рис. 4.1, б). Характеристика $M_{\text{оф}} = f(s_1)$ отримана як різниця характеристик трифазного АД для прямої $M_1 = f(s_1)$ та зворотної $M_2 = f(s_2)$ послідовностей. Запас стійкості визначається відношенням перекидаючого $M_{\text{п}}$ і номінального $M_{\text{н}}$ моментів:

$$\frac{M_{n.mp}}{M_n} > \frac{M_{n.оф}}{M_n}. \quad (4.2)$$

Самозапуск, це здатність двигуна самостійно поновити роботу після короткочасного зниження або провалу напруги. У неповнофазному режимі, як видно з рисунка 4.1, б, після зупинки двигуна ($s_1 = 1$) пусковий момент відсутній і нормальна робота двигуна не поновиться.

Режим з обірваною фазою довгостроково неприпустимий і вважається аварійним. Залежно від потужності та призначення двигуна мають бути передбачені заходи щодо своєчасного виявленню або автоматичному вимиканню АД у випадку неповнофазного режиму. Застосування спеціального захисту від випадання фази ПУЕ допускають лише як виняток для двигунів, що захищені запобіжниками і не мають захисту від перевантаження, якщо однофазний режим призводить до пошкодження двигуна.

Опис лабораторного устаткування

Схеми лабораторного устаткування надані на рисунках 4.2 і 4.3.

На схемах (рис. 4.2 і 4.3) позначено:

$S1$ і $S2$ – кнопки «пуск» і «стоп»;

$Стр$ і $Содн$ – контакти перемикача трифазного й однофазного режимів;

$K1$ – контактор короткочасного вмикання пускового конденсатора $Сп$;

$K2$ – контактор вмикання АД;

C_{p1} і C_{p2} – робочі конденсатори;

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ – початки і кінці обмоток статора АД;

P – короткозамкнений ротор;

$Я$ – якір генератора постійного струму;

R – реостат навантаження;

W, A, V – ватметр, амперметр, вольтметр.

На рисунку 4.2 суцільними лініями показані стаціонарні зв'язки, а пунктирними – кола, що збираються студентами.

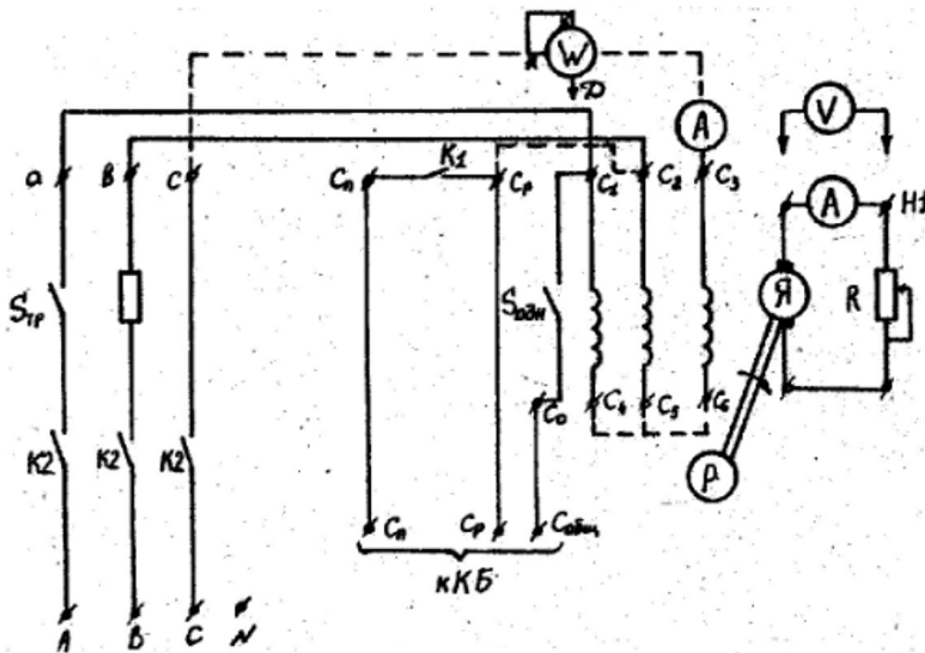


Рисунок 4.2 – Силкові кола лабораторного устаткування

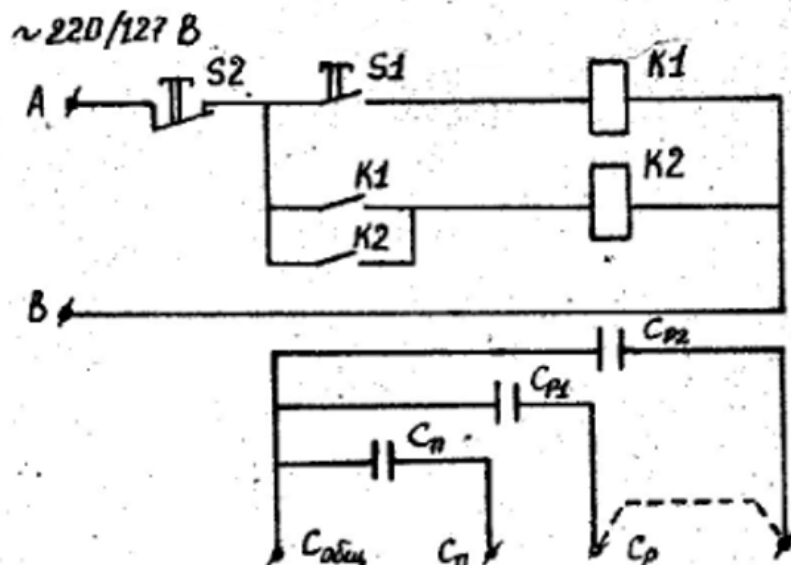


Рисунок 4.3 – Кола керування

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Дослідити роботу АВ у трифазному режимі, схема з'єднання обмоток статора «зірка»: скласти кола вимірювання; перемикач режиму встановити у верхнє положення $S_{тр}$; увімкнути АД і виміряти параметри, вказані у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати дослідження

Режим	Опит	Виміряно					Обчислено			
		$I_{Г, А}$	$U_{Г, В}$	$I_{вх, А}$	$P_{вх, Вт}$	$U_{вс, В}$	$P_{д, Вт}$	$S, ВА$	$\rho, в.о.$	$\cos\phi$
Трифазний	1	$I_{мин}$								
	2	1,0								
	3	1,5								
	4	2,0								
	5	2,5								
Неповнофазний	1	$I_{мин}$								
	2	1,0								
	3	1,5								
	4	2,0								
	5	2,5								

Дослідити роботу АД у неповнофазному режимі. Перемикач режиму встановити у положення $S_{одн}$, а штекер Д ватметра (рис. 4.2) підключити до за- тискача в. Виміри і обчислення виконати згідно з таблицею 4.1. Потрібно врахувати можливість порушення статичної стійкості («перекидання») двигуна при струмах $I_{Г} > 2А$. Записати струм «перекидання» і швидко вимкнути АД (натиснути кнопку S2).

Оформлення звіту

У звіті привести схеми стенду (рис. 4.2 і 4.3), таблицю 4.1. За результатами обчислень побудувати залежності $\cos\varphi = f(P_d)$ і $\rho = f(P_d)$. Порівняти ці залежності для трифазного і неповнофазного режимів роботи.

Запитання для самоконтролю

1. Поясніть причини збільшення струму АД у неповнофазному режимі.
2. Чому зменшується запас стійкості АС при обриві фази?
3. Чому неповнофазний режим є аварійним?
4. Чому не забезпечується самозапуск АД у неповнофазному режимі?
5. Чому зменшується ККД АД у неповнофазному режимі?
6. Поясніть причини збільшення коефіцієнта потужності АД у неповнофазному режимі?

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБІЛІЗАТОРІВ

Мета роботи. Вивчити будову ферорезонансного стабілізатора, принцип його дії, достоїнства і недоліки. Дослідити статичні характеристики та навантажувальні режими стабілізатора.

Короткі теоретичні відомості

Ферорезонансні стабілізатори напруги потужністю до 1кВт широко використовують для забезпечення якості напруги ряду споживачів, наприклад телевізійних приймачів, освітлювальних приладів малоповерхової забудови, відповідальних вузлів обчислювальних машин і засобів автоматизації.

Для вивчення принципу дії і характеристик стабілізатора розглянемо його найпростішу схему з ферорезонансом струмів (рис.3.1). Дросель $L1$ характеризується постійною індуктивністю $L1 = \text{const}$, тому його вольт-амперна характеристика для діючих значень (надалі – ВАХДЗ) $U_1(I)$, що наведена на рисунку 5.1, лінійна. Дросель $L2$ – насичуваний, тому його ВАХДЗ $U_2(I)$ нелінійна. ВАХДЗ конденсатора $U_2(I_c)$ лінійна.

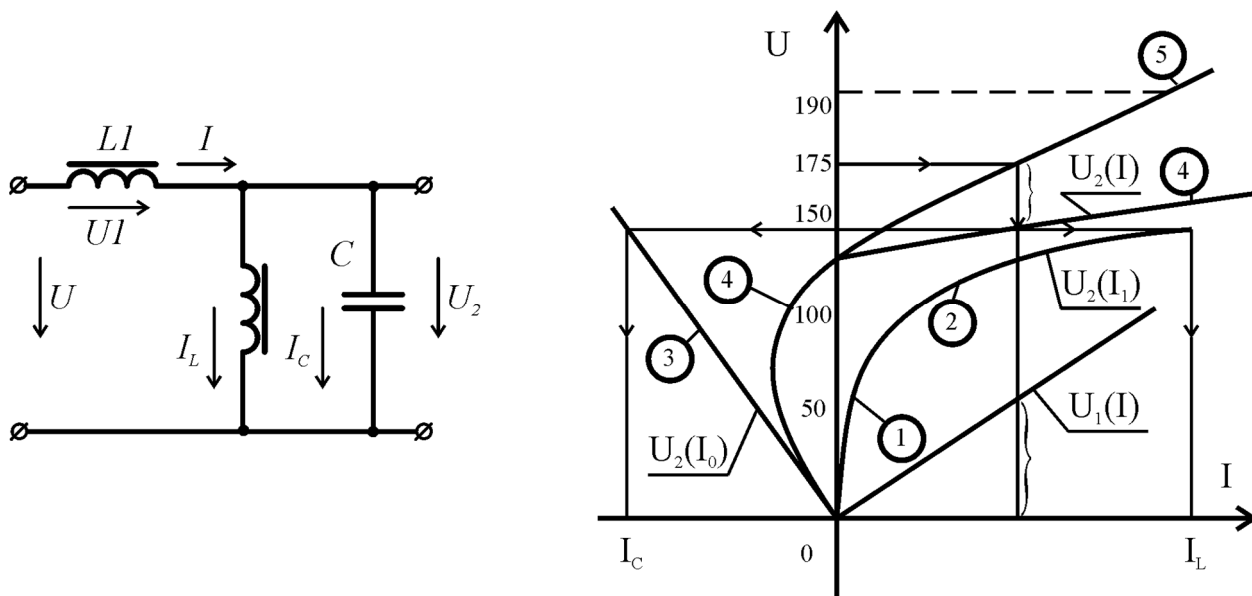


Рисунок 5.1 – Схема та характеристики ферорезонансного стабілізатора

Результуючу ВАХДЗ рівнобіжного контуру $U_2(I)$ будують з урахуванням першого закону Кірхгофа:

$$I = I_L - I_C \Big|_{U_2 = \text{const}}$$

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

$$U = U_1 - U_2 \Big|_{I = \text{const}}$$

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

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

Для характеристик (рис. 5.1) коефіцієнт стабілізації

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

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

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

Основні недоліки стабілізатора, виконаного за рисунком 5.1: вихідна напруга менше мінімальної величини вхідної $U_{\text{вих.н}} < U_{\text{вх.мін}}$; 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, показаною на рисунку 5.2.

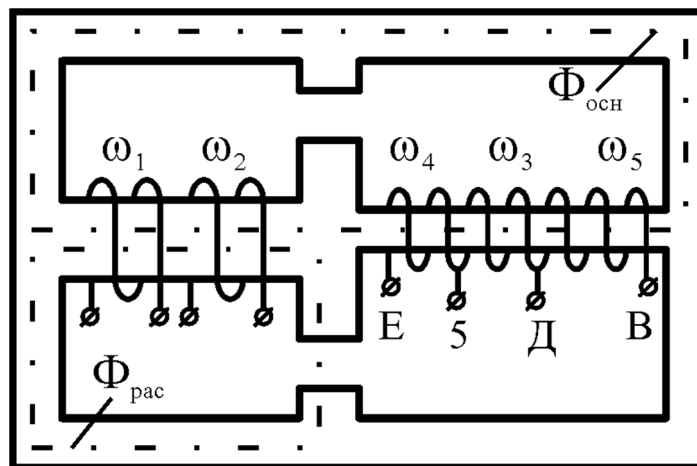


Рисунок 5.2 – Магнітна система стабілізатора

Роль лінійної індуктивності L_1 в ній виконує опір розсіювання первинної обмотки ω_1 , магнітна система якої не насичується за рахунок контуру потоку розсіювання $\Phi_{\text{рас}}$. Нелінійний дросель L_2 виконаний на обмотці ω_3 , магнітний контур якої насичується, тому що переріз середнього стрижня цієї обмотки значно менше, ніж обмотки ω_1 . Обмотка ω_5 служить для настроювання резонансу струмів у контурі $\omega_3 \omega_4 \omega_5$ (рис. 5.3).

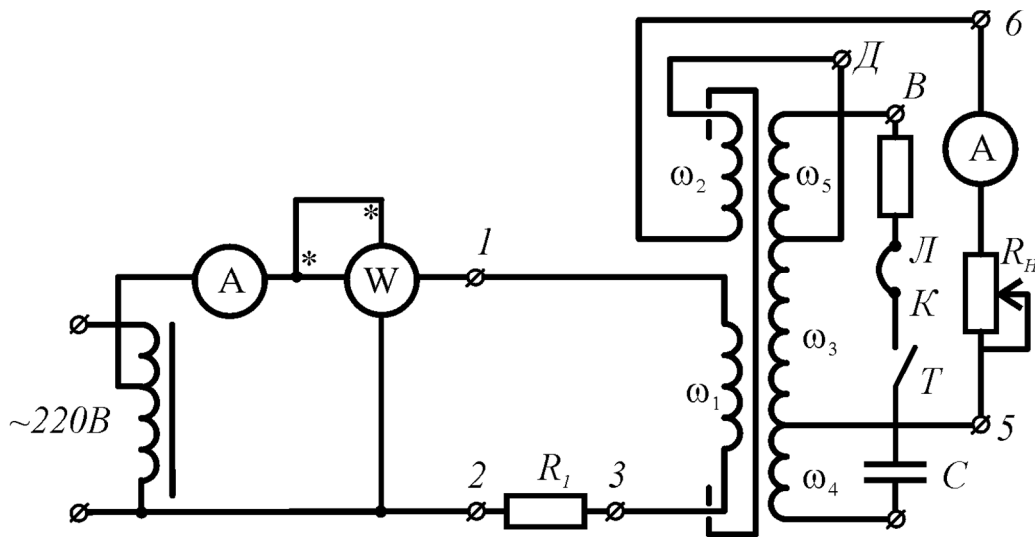


Рисунок 5.3 – Схема лабораторного устаткування

Обмотка ω_4 збільшує індуктивність резонансного контуру, що дозволяє зменшити величину ємності конденсатора C . Напряга обмотки ω_2 , пропорційна зміні вхідної напруги, віднімається з вихідної. Здійснюється зворотний зв'язок за збурюванням, що дозволяє при меншому насиченні збільшити коефіцієнт стабілізації.

Маючи великий опір завдяки резонансу для основної гармоніки, контур ω_5 , C , ω_4 виконує роль фільтра вищих гармонік, тому що його опір різко зменшується зі зростанням частоти.

Опис лабораторного устаткування

Схема стенда для дослідження стабілізатора наведена на рисунку 5.3, 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: $U_H = 220$ В; $S_H = 160$ ВА.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Ознайомитися з обладнанням стенда.

Зібрати вимірювальні ланцюги схеми (рис. 5.3) і виміряти величини, зазначені в таблиці 5.1. Номінальний струм визначають за номінальними даними стабілізатора.

Дослідити режими вузлів стабілізатора, зробивши виміри відповідно до таблиці 5.2. Перед кожним виміром установлювати межу вольтметра на 600 В. Пояснити результати. Перевірити виконання другого закону Кірхгофа.

Таблиця 5.1 – Дослідження зовнішніх характеристик стабілізатора

Установлено	Виміряно				Обчислено					
$U_{вх},$ В	$U_{вих},$ В	$I_{вх},$ А	$I_{вих},$ А	$P_{вх},$ Вт	$S_{вх},$ ВА	$Q_{вх}$ вар	$P_{вих},$ Вт	$\cos\varphi$	$\eta,$ в.о.	$k_c,$ в.о.
180										
200										
220										
230										

Таблиця 5.2 – 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
Т включений $U_{вх}=220$ В $I_{ввих} = I_{НОМ}$							
Т включений $U_{вх}=170$ В $I_{ввих} = I_{НОМ}$							
Т відключений $U_{вх}=220$ В							

Оформлення звіту

У звіті навести схему установки для дослідження стабілізатора (рис. 5.3), таблиці 5.1 і 5.2, за даними обчислень яких побудувати залежності $\cos\varphi = f(U_{\text{вх}})$ і $\rho = f(U_{\text{вх}})$. Проаналізувати результати таблиці 5.2, вказавши величини напруг по рисунку 5.3.

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає принцип роботи ферорезонансного стабілізатора напруги?
2. Яке призначення компенсаційної обмотки стабілізатора?
3. Як впливає нелінійна індуктивність стабілізатора на криву вихідної напруги?
4. Поясніть призначення лінійного дроселя.
5. Поясніть призначення дроселя насичення.
6. Для чого призначений конденсатор?
7. Чи може напруга U_2 (рис. 5.1) бути більше, ніж U ?
8. Чому при відключенні конденсатора на рисунку 5.3 напруга $U_{\text{вв}}$ зменшується?
9. Як впливає зворотний зв'язок за збурюванням на коефіцієнт стабілізації?
10. Для чого потрібний магнітний шунт у стабілізаторі?
11. Чому стабілізатор генерує в мережу вищі гармоніки?
12. Як визначають коефіцієнт стабілізації за напругою та за струмом?
13. Як змінюється коефіцієнт корисної дії стабілізатора при зміні вхідної напруги?

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОГАЛЬВАНІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

Мета роботи. Вивчити будову і принцип дії монокристалічної сонячної батареї, дослідити її вольт-амперну характеристику.

Короткі теоретичні відомості

Сонце є основним джерелом енергії, яке забезпечує існування життя на Землі. Для характеристики сонячного випромінювання використовуються наступні основні величини.

Потік випромінювання – величина, що дорівнює енергії, яку переносять електромагнітні хвилі за одну секунду через довільну поверхню. Одиниця виміру потоку випромінювання – Дж /с = Вт.

Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість) – величина, рівна відношенню потоку випромінювання до площі рівномірно опромієної поверхні. Одиниця виміру щільності потоку випромінювання – Вт/м².

Світловий потік. Світловим потоком називається потік випромінювання, оцінюваний по його впливу на людське око. Людське око не однаково чутливе до потоків світла з різними довжинами хвиль. Зазвичай при денному освітленні очі найбільш чутливі до світла з довжиною хвилі 555 нм. Тому однакові по потужності потоки випромінювання, але різні довжини хвиль викликають різні світлові відчуття у людини. Одиницею виміру світлового потоку з точки зору сприйняття його людським оком (яскравості) є *люмен* (лм). Світловий потік в 1 лм білого світла дорівнює $4,6 \cdot 10^{-3}$ Вт (або $1 \text{ Вт} = 217 \text{ лм}$).

Освітленість – величина, рівна відношенню світлового потоку, що падає на поверхню, до площі тієї поверхні. Освітленість вимірюється в люксах (Лк). $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$. Для білого світла $1 \text{ лк} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/ м}^2$ (або $1 \text{ Вт/м}^2 = 217 \text{ лк}$). Прилади, призначені для вимірювання освітленості, називаються *люксметрами*.

Сонячна електроенергетика – це напрямок енергетики, що займається перетворенням енергії сонячного випромінювання в електроенергію.

Існують два способи перетворення сонячної енергії: фототермічний і фотоелектричний. У першому теплоносій нагрівається в сонячному колекторі до високої температури і використовується для обертання турбогенератора, який виробляє електроенергію для гарячого водопостачання та опалення приміщень. У другому – пряме перетворення сонячного випромінювання в електричний струм за допомогою напівпровідникових фотоелементів – сонячних батарей.

Сонячна батарея – це з'єднані між собою фотоелектричні перетворювачі (фотоелементи), які перетворюють сонячну енергію в постійний струм. Сонячні батареї будуються з модулів, зроблених на основі кристалів кремнію. Залежно від області застосування, сонячні модулі можуть мати різні конструктивні рішення і різні вихідні потужності. Застосовуються сонячні батареї для забезпечення автономної електроенергії.

Тонкоплівочні сонячні батареї є найбільш дешевими у виробництві, не потребують прямих сонячних променів, працюють при розсіяному випромінюванні і можуть встановлюватися на стіни будівлі. Це сонячні модулі, в яких напівпровідник осідає тонким шаром (товщиною близько одного мікрона) на тонку підкладку зі скла або сталі. Як напівпровідники можуть виступати різні матеріали, що володіють здатністю поглинати світло. Найчастіше для цього використовується аморфний кремній (a-Si: H) або полікристалічні матеріали, такі як телурид кадмію (CdTe), мідно-індієвий (CIS) та мідно-галієвий діселенід (CIGS).

Тонка плівка може бути краще, ніж монокристали в областях з туманним кліматом або в тих виробництвах, де присутня постійна запиленість повітря, в таких ситуаціях цей спосіб виробництва енергії буде рентабельнішим. Тонкоплівкові панелі здебільшого використовуються для систем, які генерують електроенергію безпосередньо в мережу («on-grid» системи).

Для тонкоплівкових панелей необхідно використовувати високовольтні інвертори і контролери, які не стикуються з малопотужними побутовими системами. По причині невеликого ККД (близько 10%) ці панелі ефективно використовувати в системах потужністю від 10 кВт.

Одним з істотних недоліків тонкоплівкових панелей можна вважати те, що вони вимагають більшої площі для установки (приблизно в 2 рази більше порівняно з монокристалічними батареями). Розміри панелей 1 400 x 800 x 3 мм, вага – близько 20 кг, робоча напруга 55,7–60 В, робочий струм 9,0 А, максимальна напруга системи 1 000 В. Вартість тонкоплівкових сонячних батарей коливається в межах 0,5–1 дол. за 1 Вт потужності.

Тонкоплівкові кремнієві сонячні батареї виробляються вже досить давно. Вони застосовуються в годинниках і калькуляторах. Аморфний кремній в них осідає на тонку підкладку. Ефективність тонкоплівкових сонячних батарей на основі аморфного кремнію істотно нижче, ніж сонячних батарей на основі кристалічного кремнію, однак висока ефективність в даному випадку не є критично важливою характеристикою і для побутових пристроїв як годинник або калькулятор тонкоплівкові батареї на основі аморфного кремнію є стандартом.

Монокристалічні сонячні батареї на сьогоднішній день найпопулярніші. Ці сонячні батареї являють собою кремнієві пластини товщиною 250–300 мкм. КПД монокристалічних сонячних батарей до 25 %. Батареї вставляються в алюмінієву рамку і закриваються захисним склом. Колір фотоелементів монокристалічних сонячних батарей чорний або темно-синій. Сонячні батареї встановлюються на дахах будинків, на ліхтарях освітлення і зазвичай використовуються для підзарядки акумуляторів, живлення сигналізації, освітленні, побутової техніки та ін. Схема підключення: сонячні панелі – контролер – акумулятори – інвертор – споживачі.

Контролер – електронний пристрій, що забезпечують управління зарядом – розрядом сонячних батарей, захищає систему живлення від перевантажень і короткого замикання при зміні режимів споживання енергії. Акумуля-

тори слугують для накопичення енергії, а інвертори перетворюють постійний струм акумулятора в перемінний струм промислової частоти.

Розміри монокристалічних сонячних батарей від 306 x 216 x 18 мм до 1950 x 992 x 50 мм, вага від 0,8 до 24 кг, робоча напруга від 21,6 В до 59,5 В, робочий струм від 0,29 А до 7,98 А.

Вартість *полікристалічної сонячної батареї* менше, ніж монокристалічної. КПД близько 20%. Полікристалічні сонячні батареї мають яскраво синій колір. Область застосування: живлення побутової техніки, освітлення, живлення ноутбуків, мобільних телефон та ін. Схема підключення така ж, як і у монокристалічних сонячних панелей.

Недоліки сонячних батарей:

- низький КПД;
- зниження ефективності при забрудненні поверхні;
- зниження продуктивності фотоелементів при підвищенні температури, вимогливі до опору навантаження. Для усунення цього недоліку необхідно використовувати контролери управління;
- погіршення характеристик з плином часу;
- висока вартість.

Сонячна батарея працює наступним чином.

Фотони вдаряються об поверхню сонячної батареї і поглинаються її робочим матеріалом, наприклад, кремнієм.

Фотони, стикаючись з атомами речовини вибивають з нього його рідні електрони. В результаті чого виникає різниця потенціалів. Вільні електрони починають рухатися всередині речовини, щоб погасити різницю потенціалів. Виникає електричний струм. Так як сонячна батарея – це напівпровідник, то електрони рухаються тільки в одному напрямку.

Одержуваний струм сонячна батарея віддає споживачеві або акумулятору.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

1. Ознайомлення з конструкцією і принципом дії монокристалічної сонячної батареї

2. Провести експеримент, обробити отримані дані і побудувати вольт-амперну характеристику сонячної батареї.

Зібрати схему (рис. 6.1) з урахуванням полярності приладів.

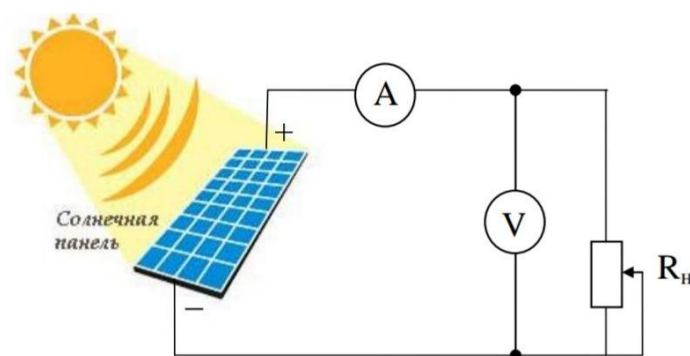


Рисунок 6.1 – Схема лабораторного стенда

Після перевірки викладачем правильності складання схеми здійснити підключення. Включити випромінювач (лампу).

Зняти 6 точок для побудови вольт-амперної характеристики з урахуванням паспортних даних сонячної батареї.

Результати вимірювань занести в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Експериментальні дані при 100% освітленні

№ з/п	1	2	3	4	5	6
I, A						
U, B						
$P, Вт$						

Побудувати вольт-амперну характеристику в масштабі.

Повторити вимірювання для 50% затінення сонячної батареї.

Результати вимірювань занести в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Експериментальні дані при 50 % освітленні

№ з/п	1	2	3	4	5	6
I, A						
U, B						
$P, Вт$						

Оформлення звіту

У звіт навести схему лабораторної роботи, таблиці з результатами вимірів, вольт-амперні характеристики $U = f(I)$ й характеристики $P = f(I)$ для 100% й 50% освітлення сонячної панелі. Навести висновки за отриманими характеристиками.

Запитання для самоконтролю

1. Поясніть конструкцію сонячної батареї.
2. Поясніть принцип дії сонячної батареї.
3. Які матеріали використовуються для виготовлення сонячної батареї?
4. Як впливає освітленість на вихідні характеристики сонячних батарей?
5. Яка область застосування сонячних батарей?
6. Які функції виконує контролер?
7. Для чого використовується інвертор?
8. Що таке вольт-амперна характеристика фотоелемента?
9. В чому відмінність вольт-амперної характеристики при затіненні сонячної батареї?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василега П. О. Електропостачання : навч. посібник / П. О. Василега. – Суми : ВДТ «Університетська книга», 2008. – 415 с.
2. Вольдек А. И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб. : Питер, 2010. – 350 с.
3. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 137 с.
4. Електротехніка у будівництві : підручник / [А. Є. Ачкасов, В. А. Лушкін, В. М. Охріменко, Т. Б. Воронкова] ; за ред. В. М. Охріменка ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – 2-ге вид., випр. і доп. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 447 с.
5. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії : підручник / В. М. Охріменко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 286 с.
6. Правила улаштування електроустановок. – 5-те вид., переробл. й доповн. – Харків : Видавництво «Форт», 2014. – 800 с.

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ»

*(для студентів усіх форм навчання
освітнього рівня «бакалавр» спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електротехнології)*

Укладачі : **ОХРИМЕНКО** Вячеслав Миколайович,
КАРЮК Андрій Олександрович

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2019, поз. 204 М.

Підп. до друку 29.05.2019. Формат 60×84/16.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,2.
Тираж 50 пр. Зам. №

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