

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи
силової електроніки»

для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання

2016

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи силової електроніки» для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання / Укладачі Корнус Т.М., Скрупська Л.С. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – 24с.

Укладачі:

КОРНУС Т.М.
СКРУПСЬКА Л.С.

Рецензент:

ЖОРНЯК Л. Б.

Відповідальний за випуск:

АНДРІЄНКО П.Д.

Затверджено на засіданні кафедри
"Електричні апарати та
електронні"

Протокол №8 від 28.03.2016 р.
Затверджено на НМК факультету
Протокол №7 від 11.04.2016 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Лабораторна робота № 1.	6
1.1 Короткі теоретичні знання.....	6
1.2 Схема для проведення експерименту.....	6
1.3 Порядок проведення роботи.....	7
1.4 Обробка результатів вимірів.....	7
1.5 Зміст звіту.....	8
1.6 Питання для самоперевірки.....	8
2. Лабораторна робота № 2	12
2.1 Короткі теоретичні знання.....	12
2.2 Схема для проведення експерименту.....	12
2.3 Порядок проведення роботи	12
2.4 Обробка результатів вимірів.....	13
2.5 Зміст звіту.....	14
2.6 Питання для самоперевірки.....	14
3. Лабораторна робота № 3	16
3.1 Короткі теоретичні знання.....	16
3.2 Схема для проведення експерименту.....	16
3.3 Порядок проведення роботи.....	17
3.4 Обробка результатів вимірів.....	17
3.5 Зміст звіту.....	17
3.6 Питання для самоперевірки.....	18
4. Лабораторна робота № 4	20
4.1 Короткі теоретичні знання.....	20
4.2 Схема для проведення експерименту.....	20
4.3 Порядок проведення роботи.....	21
4.4 Обробка результатів вимірів.....	21
4.5 Зміст звіту.....	21
4.6 Питання для самоперевірки.....	22
Список літератури	24

ВСТУП

Принцип роботи перетворювача заснований на періодичному включенні і вимиканні напівпровідникових приладів (вентилів). Засіб вимикання залежить від виду джерела напруги, що забезпечує струм, необхідний для вимикання вентиля. У більшості випадків струм, що проходить через прилад, що виключається, переводиться під впливом цього джерела в інший ланцюг за рахунок включення (відмикання) приладу в цій галузі. Такий процес зветься комутації. Якщо джерелом комутуючій напруги є первинна чи вторинна мережа перемінного струму, комутацію називають мережний, чи природної. Якщо джерелом комутуючій напруги є допоміжна напруга, комутацію називають примусової, чи штучної.

При аналізі некерованих напівпровідникових випрямлячів із природною комутацією для визначення в даний момент часу станів вентилів (провідне чи закрите), варто користатися таким правилом:

- при з'єднанні вентилів із загальним катодом проводить струм той вентиль, анод якого має найбільший потенціал;
- при з'єднанні вентилів із загальним анодом проводить струм той вентиль, катод якого має найменший потенціал.

Комутація вентилів викликає перехідний процес у схемі.

Стан схеми перетворювача, при якому перехідні процеси обумовлені тільки комутацією вентилів із заданою послідовністю і періодичністю, називається стаціонарним.

У даному циклі лабораторних робіт досліджуються тільки стаціонарні електромагнітні процеси в схемах.

Знаючи форму струмів і напруг у схемі при заданих параметрах мережі і навантаження, можна висунути попередні вимоги до вентилів і трансформатора, оцінити енергетичні характеристики перетворювача.

З параметрів трансформатора необхідно визначити:

- діюче значення струму і напруги вторинної обмотки (I_2, U_2);
- діюче значення струму первинної обмотки (I_1);
- потужності обмоток і типову потужність (S_1, S_2, S_T).

З параметрів вентилів необхідно визначити:

- постійну складову прямого струму при номінальному навантаженні I_{FAV} ;
- амплітуду прямого струму I_{FM} ;
- амплітуду зворотної напруги U_{RM} .

Основні енергетичні характеристики випрямляча:

- коефіцієнт корисної дії η , обумовлений як відношення корисної потужності P_d до активної потужності P_{da} , споживаної перетворювачем у номінальному режимі;
- коефіцієнт потужності K_M , обумовлений як відношення активної потужності першої гармоніки первинного струму $P_{1(l)}$, до повної потужності S_I ;
- зовнішня (навантажувальна) характеристика $U_d=f(I_d)$ - залежність постійної складовий випрямленої напруги від постійної складовий випрямленого струму. Для регульованих випрямлячів маємо сімейство зовнішніх характеристик при різних кутах керування.

При виконанні лабораторних робіт варто пам'ятати, що усі виміри проводяться за допомогою приладів магнітоелектричної системи, що реагують на середньовипрямлене значення струмів і напруг. Діюче значення цих величин показує відповідна шкала, що проградуйована як $I_{AV} \cdot k$, де k - коефіцієнт форми для синусоїди.

Отже, приладами даного типу можна вимірювати діючі значення тільки синусоїдальних струмів і напруг.

Зауваження:

- Осцилограми варто знімати при синхронізації осцилографа від мережі;
- Для всіх осцилограм однієї лабораторної роботи повинний бути встановлений однаковий масштаб часу по осі абсцис.

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ТЕМА: Однофазна однонапівперіодна схема випрямлення однофазного струму.

ЦІЛЬ РОБОТИ: Досліджувати роботу однофазного однонапівперіодного випрямляча при різному характері навантаження.

1.1 Короткі теоретичні знання

Однонапівперіодна схема випрямлення є найпростішою. Електромагнітні процеси в схемі, її режими роботи і розрахункових співвідношень описані в [1],[2],[5],[7].

Дана схема практично не застосовується через:

- значні пульсації кривої вихідної напруги;
 - недостатньо ефективного використання трансформатора.
- Однак аналіз електромагнітних процесів у ній має методичне значення для розгляду процесів у більш складних схемах випрямлення.

1.2 Схема для проведення експерименту

Досліджувана схема приведена на рис. 1.1, 1.2, 1.3.

Перемінна напруга подається за допомогою автоматичних вимикачів і регулятора напруги QF і SFA на затиски 4 і 5 і контролюється вольтметром $PV1$. Вольтметр $PV2$ і амперметр $PA3$ установлюються з метою контролю напруги навантаження U_d і струму навантаження I_d .

Як дросель L_d що згладжує можна використовувати обмотки трансформатора $Tr1$.

Індуктивності обмоток:

$$L_{1n,1\phi 0} \cong 1.3 \text{ Гн};$$

$$L_{2n,2\phi 0} \cong 0.8 \text{ Гн}.$$

1.3 Порядок проведення роботи

1.3.1 Зібрати схему рис. 1.1.

1.3.2 Установити активне навантаження R_d , рівну 100 Ом .

1.3.3 Подати живляча напруга U_2 , рівне 15 В .

1.3.4. Зняти осцилограми анодного струму i_F , струму трансформатора i_2 , струму навантаження i_d , напруги навантаження u_d , зворотної напруги вентиля u . Визначити максимальні значення даних величин.

1.3.5 Зняти зовнішню характеристику $U_d=f(I_d)$ по двох крапках:

1). $I_d=0$ ($R_d=\infty$);

2). $I_d=I_{dn}$ ($R_d=R_{dn}$), де I_{dn} - номінальний струм навантаження; R_{dn} - номінальний опір навантаження.

1.3.6 Зібрати схему рис. 1.2.

1.3.7 Як індуктивність навантаження L_d підключати обмотки трансформатора $Tr1$, набираючи L_d у такий спосіб:

1-і вимір – $2H-2K$;

2-і вимір – $1H-1K$.

1.3.8 Зняти осцилограми анодного струму i_F , струму трансформатора i_2 , струму навантаження i_d , напруги навантаження u_d , зворотної напруги вентиля u_R .

1.3.9 Зняти зовнішню характеристику $U_d=f(I_d)$ по двох крапках:

а). $I_d=0$ ($R_d=\infty$);

б). $I_d=I_{dn}$ ($R_d=R_{dn}$).

1.3.10 Зібрати схему рис. 1.3. при наступних параметрах навантаження:

$C = 10 \text{ мкФ}$,

$R_d = 500 \text{ Ом}$,

$R_u = 1 \text{ Ом}$.

1.3.11 Зняти осцилограми i_d , u_d , i_F , i_c , u_c , i_2 , u_R .

1.4 Обробка результатів вимірів

1.4.1 За результатами п. 1.3.5, п. 1.3.9 побудувати зовнішню характеристику випрямляча при активному навантаженні й індуктивному навантаженні.

1.4.2 За результатами осцилографування і розрахунків висунути вимоги до вентиля і трансформатора при активному навантаженні.

1.5 Зміст звіту

1.5.1 Ціль роботи.

1.5.2 Схема установки.

1.5.3 Осцилограми, зняті згідно п.п. 1.3.4, 1.3.8, 1.3.11, повинні мати написи, що пояснюють, і найменування, масштаби, умови, при яких вони зняті (струми, напруги в схемі, величина і характер навантаження і т.д.).

1.5.4 Графічні залежності відповідно п.п. 1.4.1.

1.5.5 Математичні співвідношення і розрахунки по п. 1.4.2.

1.5.6 Висновки по роботі повинні містити обґрунтовані рекомендації з застосуванню даної схеми.

1.6 Питання для самоперевірки

1.6.1 Робота однофазної однонапівперіодної схеми випрямлення на активне навантаження.

1.6.2 Робота однофазної однонапівперіодної схеми випрямлення на активно-індуктивне навантаження.

1.6.3 Робота однофазної однонапівперіодної схеми випрямлення на активно-ємнісне навантаження.

1.6.4 Що таке коефіцієнт потужності?

1.6.5 Що таке зовнішня характеристика випрямляча?

1.6.6 У яких випадках як фільтр застосовують дросель, що згладжує, а в яких випадках - конденсатор, що згладжує?

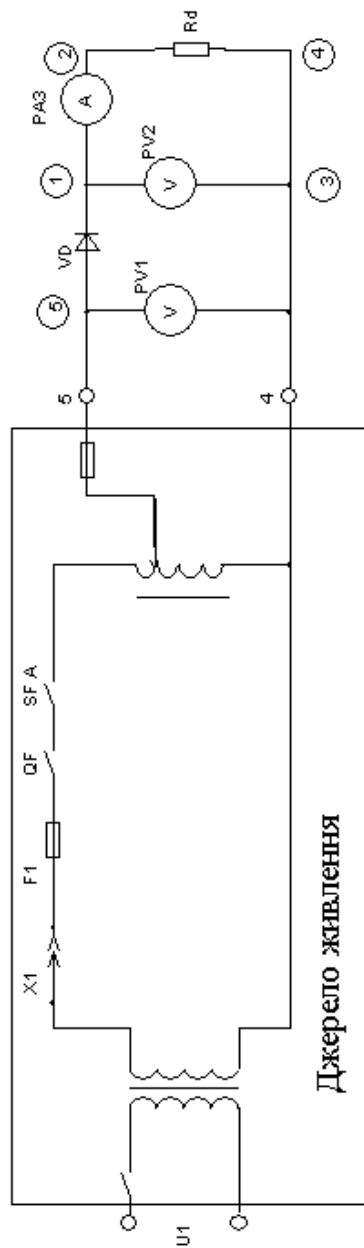


Рисунок 1.1 – Схема однофазного мостового випрямляча з активним навантаженням

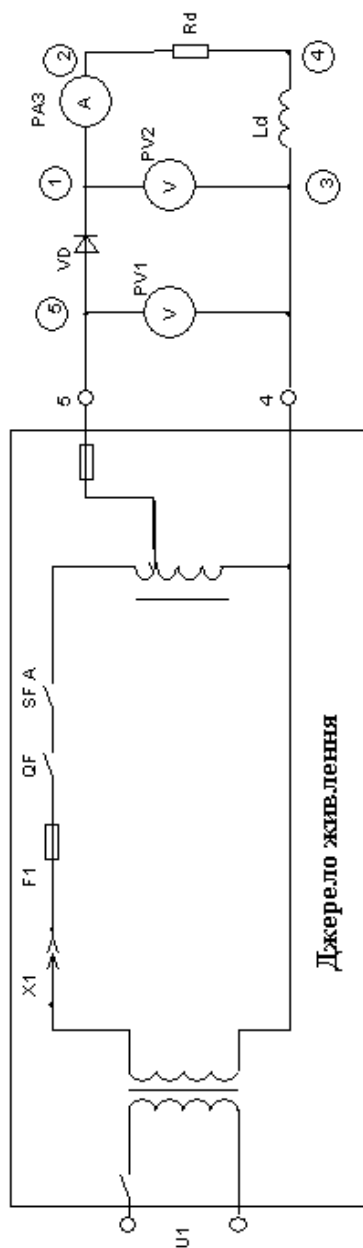


Рисунок 1.2 – Схема однофазного мостового выпрямляча з активно-індуктивним навантаженням

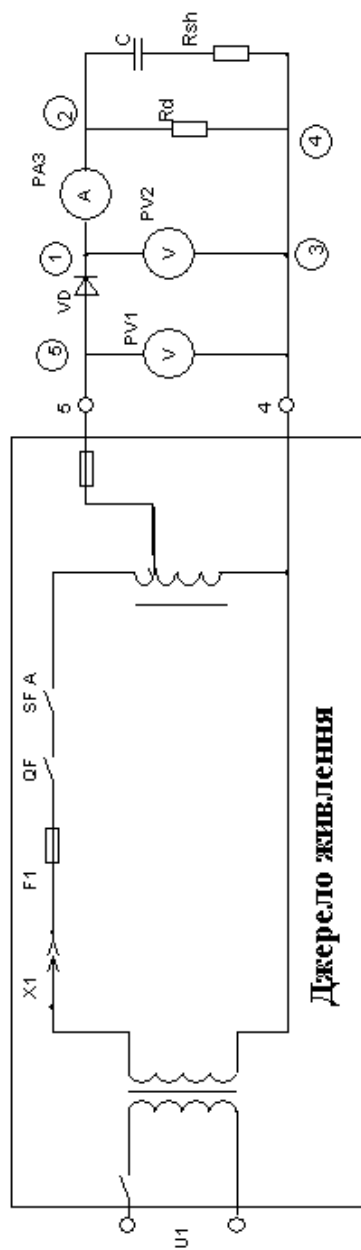


Рисунок 1.3 – Схема однофазного мостового випрямляча з активно-емкісним навантаженням

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ТЕМА: Двохнапівперіодна мостова схема випрямлення однофазного струму.

ЦІЛЬ РОБОТИ: Досліджувати роботу двохнапівперіодного мостового випрямляча при різному характері навантаження

2.1 Короткі теоретичні знання

Електромагнітні процеси в схемі, її режими роботи і розрахункових співвідношень описані в [1],[2],[5],[7].

Дана схема має в два рази меншу зворотню напругу, чим нульова однофазна схема і характеризується кращим використанням трансформатора, однак наявність у ній чотирьох вентилів проти одного в нульовій схемі є її недоліком.

2.2 Схема для проведення експерименту

Схема приведена на рис. 2.1.

Перемінна напруга подається за допомогою автоматичних вимикачів QF і SFA і регулятора напруги PHO на затиски 4 і 5 і контролюється вольтметром $PV0$. Вольтметр $PV4$ і амперметр $PA3$ установлюються з метою контролю напруги навантаження U_d і струму навантаження I_d , амперметр $PV2$ – з метою контролю анодного струму вентиля I_F , амперметр $PV1$ – вторинного струму трансформатора I_2 . Величини параметрів зазначені в п. 1.2. (Лаб. раб. №1).

2.3 Порядок проведення роботи

2.3.1 Підключити до затисків 4 і 5 вольтметр $PV0$. Включити автоматичні вимикачі QF і SFA . Подати регулятором фази A напругу $U_2 = 15\text{ В}$. Відключити QF і SF . Вимкнути вольтметр $PV0$.

Зауваження: При виконанні роботи ручки регулятора не стосуватися! Подавати напруга на схему тільки за допомогою автоматичних вимикачів.

2.3.2 Зібрати схему відповідно рис. 2.1.

2.3.3 Установити активне навантаження R_d , рівне 100 Ом ($K1$ замкнуті, $K2$ розімкнуті).

2.3.4 Подати живлячу напругу.

2.3.5 Зняти осцилограми анодного струму i_F , струму трансформатора i_2 , струму навантаження i_d , напруги навантаження u_d , зворотної напруги вентиля u_R . Визначити максимальні значення даних величин.

2.3.6 Зняти зовнішню характеристику $U_d=f(I_d)$ по двох крапках:

а). $I_d=0$ ($R_d=\infty$);

б). $I_d=I_{dн}$ ($R_d=R_{дн}$).

2.3.7 Установити активно-індуктивне навантаження ($K1$ розімкнуті).

2.3.8 Зняти осцилограми анодного струму i_F , струму трансформатора i_2 , струму навантаження i_d , напруги навантаження u_d , зворотної напруги вентиля u_R при:

$L_{1н,1к} \cong 1.3\text{ Гн}$;

$L_{2н,2к} \cong 0.8\text{ Гн}$,

підключених як L_d .

2.3.9 Установити активно-ємнісне навантаження ($K1$ і $K2$ замкнуті).

2.3.10 Зняти осцилограми i_d , u_d , i_F , i_C , u_C , i_2 , u_F .

2.4 Обробка результатів виміру

2.4.1 За результатами п. 2.3.5, п. 2.3.9 побудувати зовнішню характеристику випрямляча при активному навантаженні й індуктивному навантаженні.

2.4.2 За результатами осцилографування і розрахунків висунути вимоги до вентиля і трансформатора при активному навантаженні.

2.5. Зміст звіту

2.5.1 Ціль роботи.

2.5.2 Схема установки.

2.5.3 Осцилограми, зняті згідно п.п. 2.3.5, 2.3.8, 2.3.10.

2.5.4 Зовнішня характеристика відповідно до п. 2.1.

2.5.5 Розрахунки і виміри відповідно п. 2.4.2.

2.5.6 Розрахунки і виміри відповідно п. 2.4.3.

2.5.7 Висновки по роботі повинні містити обґрунтовані рекомендації з застосуванню даної схеми.

2.6 Питання для самоперевірки

2.6.1 Робота однофазної мостової схеми на активне навантаження.

2.6.2 Робота однофазної мостової схеми на активно-ємкісне навантаження.

2.6.3 Робота однофазної мостової схеми на активно-індуктивне навантаження.

2.6.4. Достоїнства і недоліки схеми. Рекомендації з застосування.

2.6.5 Як вибирати ventиль?

2.6.6 Як вибирати трансформатор?

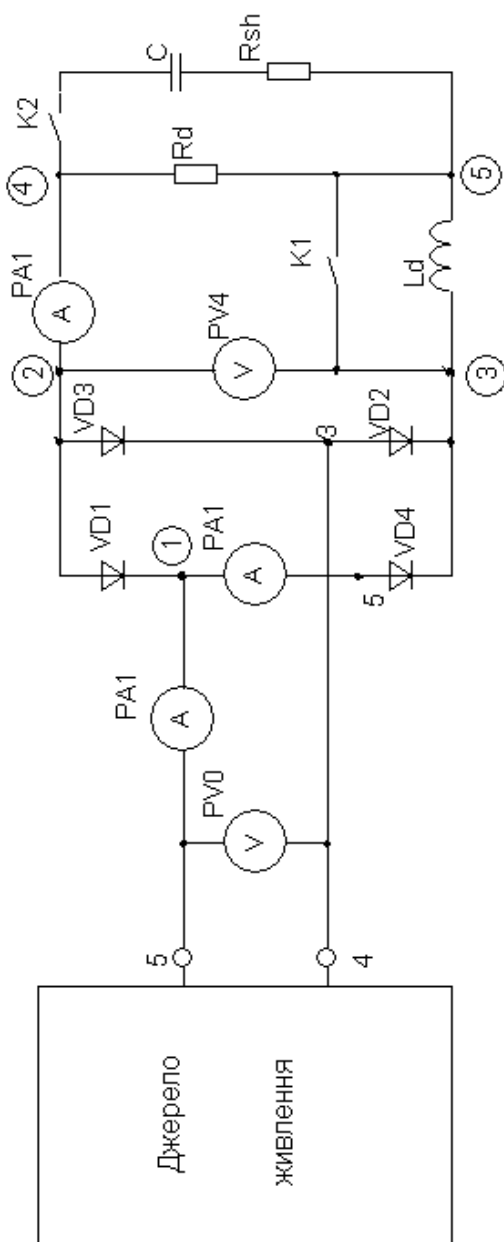


Рисунок 2.1 – Схема однофазного мостового випрямляча

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ТЕМА: Трифазна нульова схема

ЦІЛЬ РОБОТИ: Досліджувати роботу трифазної нульової схеми випрямлення струму

3.1 Короткі теоретичні знання

Електромагнітні процеси в схемі, її режими роботи і розрахункових співвідношень описані в [1],[2],[5],[7].

Потужні випрямлячі, як правило, (за винятком установок на рухливому составі залізниць) живляться від мереж трифазного струму.

Малопотужні трифазні нульові випрямлячі виконуються часто з вторинними обмотками трансформатора, з'єднаними або в зірку, або в зигзаг у залежності від того, при якій системі досягається менша розрахункова вага трансформатора. При малих потужностях (до 20-25квт) вигідніше застосовувати схеми з вторинною зіркою, а при великих потужностях - із вторинним зигзагом.

3.2. Схема для проведення експерименту

Досліджувана схема приведена на рис. 3.1.

Перемінна напруга подається на схему за допомогою автоматичного вимикача QF і знімається з контактів 1, 2, 3 і 0 (нульовий вивід), розташованих у лівому верхньому сегменті лабораторної установки. Величина живильної фазної напруги дорівнює 8 В.

Амперметри $PA3$ і вольтметр $PV4$ установлюються для виміру постійної складової струму і напруги навантаження.

Амперметр $PA1$ вимірює середній анодний струм вентиля.

Індуктивність навантаження $L_d = 1,3 \text{ Гн}$ (обмотка $1H-1K$ трансформатора $Tr1$); активний опір навантаження $R_d=100 \text{ Ом}$

3.3. Порядок проведення роботи

3.3.1 Зібрати схему.

3.3.2 Установити активне навантаження. Подати напругу.

3.3.3 Зняти осцилограми анодного струму i_F , струму трансформатора i_2 , струму навантаження i_d , напруги навантаження u_d , зворотної напруги вентиля u_R . Визначити максимальні значення даних величин.

3.3.4 Вимірити значення середнє значення струму вентиля I_{FAV} .

3.3.5 Установити активно-індуктивне навантаження.

3.3.6 Виконати п. 3.3.3. Визначити кут комутації γ .

3.3.7 Вимірити значення I_{FAV} .

3.3.8 Зняти зовнішню характеристику $U_d=f(I_d)$ по двох крапках:

а). $I_d=0$ ($R_d=\infty$);

б). $I_d=I_{dH}$ ($R_d= R_{dH}$).

3.4 Обробка результатів виміру

3.4.1 Побудувати зовнішню характеристику за даними п.3.3.8.

3.4.2 За даними п.п. 3.3.3 – 3.3.7 висунути вимоги до вентилів при $L_d = 0$ і $L_d = \infty$. Порівняти отримані результати. Виконати для цього необхідні розрахунки.

3.4.3 Розрахувати I_2 , U_2 , S_1 , S_2 для $L_d = \infty$ і з'єднань вторинних обмоток трансформатора в зигзаг. Порівняти з даними п. 3.4.2.

3.4.4 Визначити КПД випрямляча за результатами п. 3.4.1.

3.4.5 За результатами п. 3.3.6 розрахувати анодну індуктивність L_a .

3.5 Зміст звіту

3.5.1 Ціль роботи.

3.5.2 Схема установки.

3.5.3 Осцилограми, зняті згідно п.п. 3.3.3 і 3.3.6.

3.5.4 Зовнішня характеристика згідно п. 3.3.8.

3.5.5 Математичні співвідношення, розрахунки і висновки згідно п.п. 3.4.2 – 3.4.5. Висновки по роботі.

3.6 Питання для самоперевірки

3.6.1 Робота нульової трифазної схеми при з'єднанні вторинних обмоток трансформатора зіркою і $L_d = 0$.

3.6.2 Робота нульової трифазної схеми при з'єднанні вторинних обмоток трансформатора зіркою і $L_d = \infty$.

3.6.3 Робота трифазної нульової схеми при з'єднанні вторинних обмоток трансформатора зигзагом і $L_d = 0$.

3.6.4 Робота трифазної нульової схеми при з'єднанні вторинних обмоток трансформатора зигзагом і $L_d = \infty$.

3.6.5 Робота трифазної нульової схеми при з'єднанні вторинних обмоток трансформатора трикутником і $L_d = 0$.

3.6.6 Робота трифазної нульової схеми при з'єднанні вторинних обмоток трансформатора трикутником і $L_d = \infty$.

3.6.7 У яких випадках і чому вибирають з'єднання вторинних обмоток трансформатора або зіркою, або зигзагом ?

3.6.8 Як розрахувати КПД випрямляча?

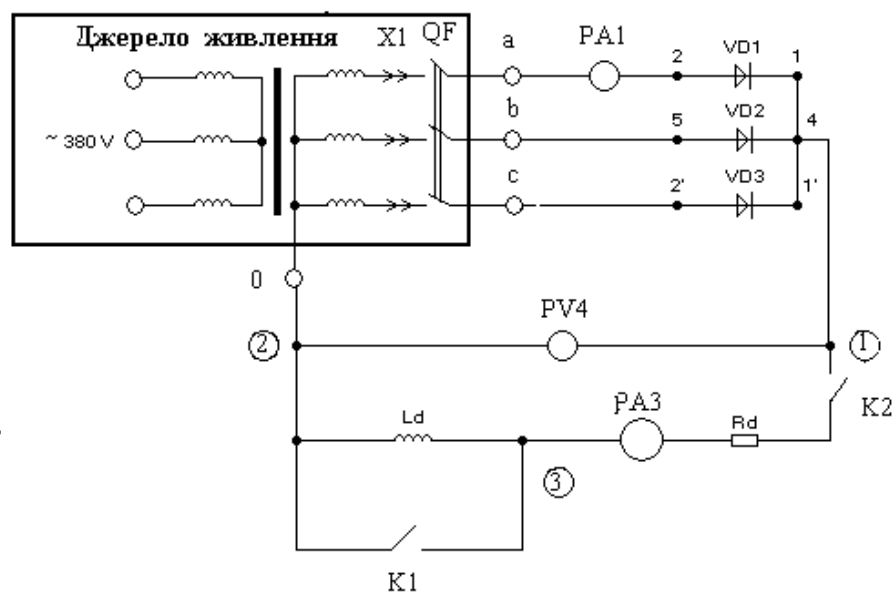


Рисунок 3.1 – Схема установки для дослідження трифазної нульової схеми.

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ТЕМА: Трифазна мостова схема

ЦІЛЬ РОБОТИ: Досліджувати роботу трифазного мостового випрямляча

4.1 Короткі теоретичні знання

Електромагнітні процеси в схемі, її режими роботи і розрахункових співвідношень описані в [1],[2],[5],[7].

Вторинні обмотки трансформатора, також як і первинні, можуть бути з'єднані або в зірку, або в трикутник.

Мале значення підвищення коефіцієнта розрахункової потужності трансформатора, робота випрямляча в режимі, еквівалентному шестифазному, а також менш високі вимоги до класу ізоляції обмоток трансформатора є тими перевагами, що обумовили широке застосування даної схеми в потужних перетворювачах, особливо у високовольтних.

4.2 Схема для проведення експерименту

Схема установки приведена на рис. 4.1.

Перемінна напруга подається на схему за допомогою автоматичного вимикача QF і знімається з виводів 1, 2, 3 і 0 (нульовий вивід), розташованих у лівому верхньому сегменті лабораторної установки. Величина живильної фазної напруги дорівнює 8 В .

Амперметри $PA3$ і вольтметр $PV4$ установлюються для виміру постійної складової струму і напруги навантаження.

Амперметр $PA2$ вимірює середній анодний струм вентиля. Амперметр $PA1$ установлюється для виміру діючого значення струму вторинної обмотки трансформатора; його також можна

використовувати як шунт для осцилографування вторинного струму трансформатора.

Індуктивність навантаження $L_d = 1,3 \text{ Гн}$ (обмотка $1H-1K$ трансформатора $Tr1$); активний опір навантаження $R_d = 100 \text{ Ом}$.

4.3 Порядок проведення роботи

4.3.1 Зібрати схему.

4.3.2 Установити активне навантаження. Подати напругу.

4.3.3 Зняти осцилограми анодного струму i_F , струму трансформатора i_2 , струму навантаження i_d , напруги навантаження u_d , зворотної напруги вентиля u_R . Визначити максимальні значення даних величин.

4.3.4 Вимірити середнє значення струму вентиля I_{FAV} .

4.3.5 Установити активно-індуктивне навантаження.

4.3.6 Виконати п. 4.3.3. Визначити кут комутації γ .

4.3.7 Вимірити значення I_{FAV} .

4.3.8 Зняти зовнішню характеристику $U_d = f(I_d)$ по двох крапках:

а). $I_d = 0$ ($R_d = \infty$);

б). $I_d = I_{dн}$ ($R_d = R_{dн}$).

4.4 Обробка результатів вимірів

4.4.1 Побудувати зовнішню характеристику за даними п. 4.3.8.

4.4.2 За даними п.п. 4.3.3 – 4.3.7 висунути вимоги до вентилів трансформатору при $L_d = 0$ і $L_d = \infty$. Порівняти отримані результати. Виконати для цього необхідні розрахунки.

4.4.3 Визначити КПД випрямляча за результатами п. 3.4.1.

4.4.4 За результатами п. 4.3.6 розрахувати анодну індуктивність L_a .

4.4.5 Розрахувати коефіцієнт потужності K_M .

4.5 Зміст звіту

Звіт повинний містити мету роботи, схему установки, усі зняті осцилограми, графічні залежності, розрахункові співвідношення, розрахунки, висновки.

4.6 Питання для самоперевірки

4.6.1 Робота схеми на активне навантаження.

4.6.2 Робота схеми при $L_d = \infty$.

4.6.3 Що таке анодна індуктивність? Її вплив на роботу схеми.

4.6.4 Що таке коефіцієнт потужності?

4.6.5 Як відрізняються типові потужності трансформатора для мостової і нульової схеми? Чому?

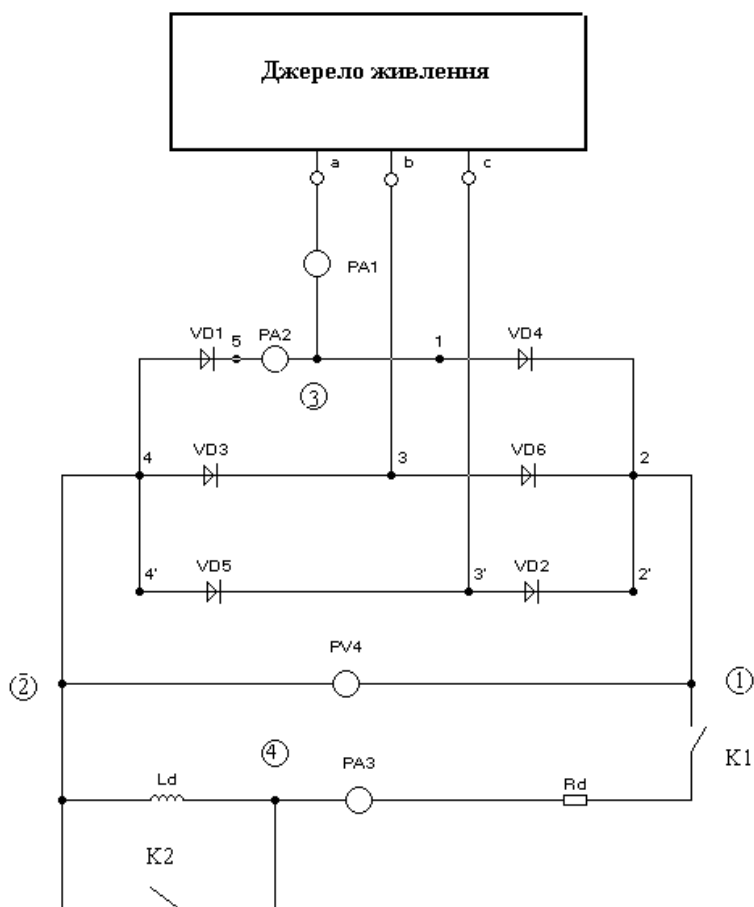


Рисунок 4.1 – Схема установки для дослідження трифазної мостової схеми випрямлення.

Список літератури

1. Руденко В.С., Сенько В., Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники.- М.: ВШ, 1980 .
2. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.
3. Полупроводниковые выпрямители. Под ред. Ковалева Ф.И. и Мостковой Г.Л. – М.: Энергия, 1978 .
4. Энергетическая электроника: Справочное пособие. Пер. с нем. под ред. Лабунцова В.А.- М.: Энергоатомиздат, 1967 .
5. Справочник по преобразовательной технике. Под ред. Чиженко И.М.- К.: Техника, 1978 .
6. Исаков Ю.А., Платонов А.П., Руденко В.С., Сенько В.Й., Трифонюк В.В., Юдин Э.Э. Основы промышленной электроники.- К.:Техника,1978 .