

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький державний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних та розрахунково-графічних робіт
по курсу "Перетворювальна техніка"

Донецьк ДонДТУ 2001

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький державний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних та розрахунково-графічних робіт
по курсу "Перетворювальна техніка"

ЗАТВЕРДЖЕНО:
на засіданні кафедри
загальної електротехніки
Протокол N 1
від 28.08.2001г.

Перезатверджено:
на засіданні кафедри
електротехніки
протокол № 7
від “25” квітня 2011р.

Донецьк ДонДТУ 2001

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Дані методичні вказівки поширюються на лабораторні та домашні розрахунково-графічні роботи з розділу "Перетворювальна техніка", які виконуються студентами електротехнічних спеціальностей ДонДТУ.

Вступне лабораторне заняття "Обладнання лабораторії і правила роботи в ній"

Мета роботи - вивчення лабораторного стенду і методів роботи на ньому, організації і правил проведення, а також техніки безпеки при роботі студентів у лабораторії 1.104.

1. Правила техніки безпеки і протипожежної техніки для студентів, що працюють у лабораторії 1.104:

- Студентам, що не пройшли вступний інструктаж (інструктаж на робочому місці) по ТБ і не розписалися в контрольному листі, виконувати лабораторні роботи забороняється.

Інструктаж з ТБ проводить викладач на першому лабораторному занятті.

- Електричні кола повинні збиратися тільки з вимкненим лабораторним стендом. Вмикати стенд можна тільки після перевірки зібраних кіл викладачем або лаборантом.

- **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** залишати без нагляду лабораторний стенд, що знаходиться під напругою.

- **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** вмикати стенд у мережу (вставляти вилку мережного шнура в розетку), якщо мережний шнур стенда, вилка чи розетка електромережі пошкоджені.

- Про будь-якому пошкодженні студенти повинні негайно повідомити викладача або лаборанта. Студентам забороняється самостійно ремонтувати електричне обладнання, прилади, стенди і т.п.

- Відключення напруги при будь-якій небезпеці здійснюється витяганням вилки мережного шнура стенда з мережної розетки.

2. Організація роботи й оформлення результатів лабораторних робіт.

До лабораторного заняття допускаються студенти, що засвоїли правила техніки безпеки, вивчили опис лабораторних стендів, вміють користатися осцилографом, готові до виконання конкретної лабораторної роботи.

Домашня підготовка.

За оголошеною раніше темою заняття студент повинен вивчити методичні вказівки до відповідної роботи, опрацювати теоретичний матеріал, що рекомендується, підготуватися до відповідей на контрольні питання і підготувати бланк звіту. У звіті всі схеми, таблиці, графіки повинні бути оформлені із застосуванням креслярських речей.

Робота в лабораторії.

Перед початком занять черговий студент приймає аудиторію (під заставу документа), одержує необхідні для даного заняття додаткові вимірювальні прилади, осцилографи, стежить за порядком.

Обладнання лабораторії дозволяє фронтальним методом виконувати дві лабораторні роботи трьома бригадами по 3-4 студента. При цьому група розбивається на дві підгрупи, а підгрупа, у свою чергу, на три бригади.

До виконання роботи допускаються лише студенти, що мають бланк звіту про роботу.

Збирання кіл і їх вмикання здійснюються тільки після перевірки і з дозволу викладача. Розбирання схеми, перехід до наступного етапу досліджень здійснюється після перевірки експериментальних даних викладачем.

При виникненні чи виявленні пошкоджень необхідно відключити стенд і повідомити викладача.

Якщо пошкодження відбулося з вини студентів, то вони відстраняються від виконання роботи, повторно проходять перевірку готовності до даної роботи. Після цього бригада виконує лабораторну роботу в позаурочний час і бере участь у ремонті стенда - заміна пошкоджених елементів за рахунок студента.

Після виконання роботи викладач перевіряє підсумкові дані, дає дозвіл на розбирання кола і підписує бланк звіту. Без підпису викладача звіт до захисту не приймається, а лабораторна робота виконується в позаурочний час.

Оформлення звіту, захист лабораторної роботи.

Обробку матеріалів і підготовку звіту до захисту варто виконувати на тій же лабораторній роботі. Графіки і діаграми необхідно будувати в масштабі згідно з експериментальними даними. Оформлений звіт представляється для перевірки на наступному занятті. Якщо звіт не представлений у термін, то студент не допускається до виконання наступної лабораторної роботи.

При здачі лабораторної роботи студент повинен вміти пояснити суть виконаної лабораторної роботи, встановлені закономірності, відповіді на питання, що містяться в методичних вказівках. При одержанні незадовільної оцінки студент знову готується до захисту. В необхідних випадках викладач має право вимагати повторного виконання лабораторної роботи.

3. Опис лабораторного стенду

Лабораторний стенд є конструкцію з діелектричного матеріалу з двома лицьовими панелями, на яких розташовані вимірювальні прилади, виводи елементів кіл, що досліджуються, органи керування. Додаткове обладнання - осцилографи і т.п. встановлюється на верхній полиці. Збирання кіл виконується спеціальними провідниками. Підключення стенда до мережі здійснюється за допомогою штепсельної вилки. Для підключення кожного з

кіл, що досліджуються, використовуються відповідні вимикачі на лицьовій панелі стенда.

4. Ознайомлення і робота з електронним осцилографом

Виконання робіт з курсу "Перетворювальна техніка" передбачає наявність стійких навичок роботи з однопроменевим і двопробеневим електронними осцилографами типу С1-68, С1-69, С1-93 і т.п.

Електронний осцилограф (ЕО) являє собою прилад, призначений для візуального спостереження змінної за часом електричної напруги. За його допомогою можна побачити форму, виконувати вимірювання амплітуди і частоти періодичних коливань і імпульсів напруги.

У ході заняття студенти під керівництвом викладача повинні вивчити порядок підключення ЕО, призначення органів керування, одержати навички роботи при спостереженні різних електричних сигналів.

ЕЛЕМЕНТНА БАЗА СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Мета роботи - вивчення принципів побудови силових напівпровідникових перетворювачів (СНП), структурна схема, взаємодія окремих вузлів.

Дана робота має демонстраційно-реферативний характер. В аудиторний час студенти знайомляться із структурною схемою СНП, призначенням і конструкцією окремих її елементів. Для цього в лабораторії призначені промислові перетворювачі постійного струму і частоти (автономний інвертор напруги), окремі елементи представлені на демонстраційному стенді. Самостійна (домашня) робота передбачає згідно із завданням підготовку невеликого реферату про окремі елементи структури СНП.

1. СТРУКТУРНА СХЕМА СНП.

Структурна схема СНП наведена на рис.1 і містить у собі наступні елементи:

1.1. Вхідні кола СНП (з боку мережі живлення):

- автоматичний вимикач QF1 для захисту від аварійних режимів на стороні змінного струму;
- силовий трансформатор TV або реактор для обмеження струму;
- система захисту СЗ1 вхідного кола;
- датчики параметрів вхідного кола СНП;
- фільтро-компенсуючий пристрій (ФКП) для компенсації впливу СНП на мережу живлення.

1.2. Вихідні кола СНП (з боку навантаження – приймача електричної енергії):

- автоматичний вимикач QF2 для захисту від аварійних режимів в вихідних колах СНП;
- система захисту СЗ2 вихідного кола;
- датчики параметрів вихідного кола СНП.

1.3. Силовий блок СНП, що містить в собі силові напівпровідникові прилади (діоди, тиристори, транзистори) з індивідуальними колами захисту і систему охолодження.

1.4. Системи керування, автоматичного регулювання і контролювання параметрів СНП (СК і К).

1.5. Пульт керування.

ЗАВДАННЯ НА ДОМАШНЮ РОБОТУ.

Тема реферату обирається відповідно з номером у журналі та пропонованим нижче списком. Реферат містить у собі:

- призначення і функції;
- вимоги до вибору і розрахунку;
- типи і конструкція.

Конкретні особливості уточнюються з викладачем.

Теми рефератів для самостійної роботи:

1. Силові діоди - властивості, класифікація, маркірування, основні параметри.
2. Силові тиристори - властивості, класифікація, маркірування, основні параметри.
3. Силові транзистори - властивості, класифікація, маркірування, основні параметри
4. Втрати енергії у напівпровідникових приладах. Способи охолодження.
5. Групове вмикання тиристорів у потужних СНП.
6. Дроселі і реактори.
7. Давачі струму і напруги.
8. Автоматичні вимикачі.
9. Принципи побудови систем керування.
10. Некерований випрямляч.
11. Керований випрямляч.
12. Ведені інвертори.
13. Автономні інвертори струму.
14. Автономні інвертори напруги.
15. Широтно-імпульсні перетворювачі (ШПП) постійного струму.
16. Перетворювачі змінної напруги.
17. Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком.
18. Перетворювачі частоти з проміжним колом постійного струму.
19. Основні вузли системи імпульсно-фазового керування (СІФК), що працює за принципом вертикального керування.
20. Принципи побудови вузлів штучної комутації тиристорів.
21. Призначення і принципи побудови ФКП.
22. Принципи побудови систем керування тиристорними перетворювачами.
23. Безконтактні комутатори на тиристорах.
24. Автономний інвертор напруги з амплітудним регулюванням.
25. Автономний інвертор напруги з ШІМ.
26. Типи та особливості діодів, що використовуються в СНП.
27. Типи та особливості транзисторів, що використовуються в СНП.
28. Силові транзисторні та тиристорні модулі.

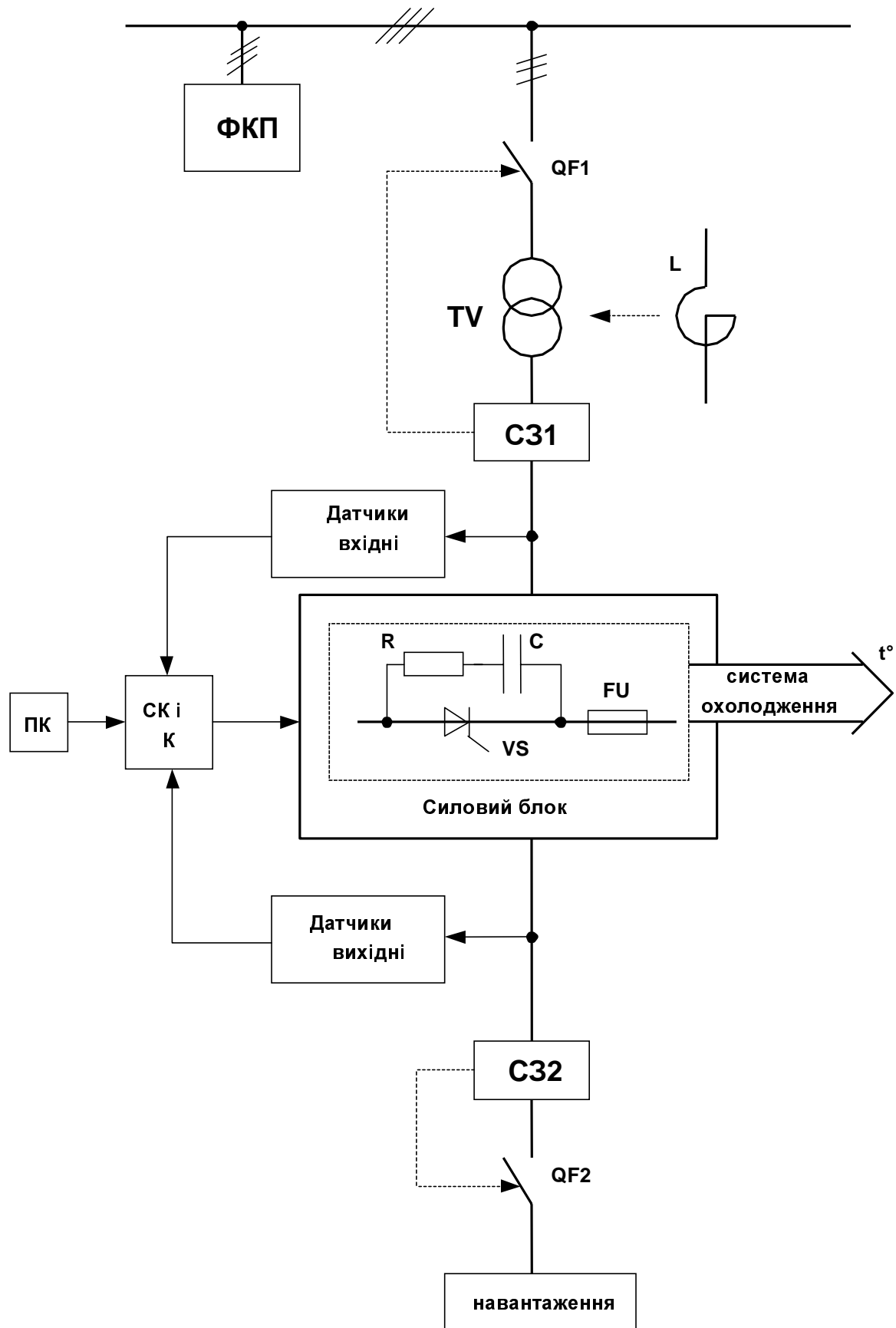


Рис.1. Структурна схема СП

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ ЯК КОМУТАЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СИЛОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ

Мета роботи: дослідження властивостей напівпровідникових приладів, які використовуються у перетворювальних пристроях; вивчення способів комутації напівпровідникових приладів у силових колах.

Домашня підготовка:

- а) вивчити матеріали лекції;
- б) вивчити за /1/ п.п. 1.3-1.5, /4/ п.п. 1.1-1.4, /5/ п.п. 32.20;
- в) підготувати бланк звіту про роботу;
- г) вивчити дане керівництво.

Порядок виконання роботи.

1. Вивчити розташування елементів на стенді.

Напівпровідникові прилади, що використовуються в даній лабораторній роботі, є виробами загального призначення. Вони можуть працювати в різноманітних умовах і режимах, характерних для різних класів перетворюваних пристроїв.

VD - напівпровідниковий силовий діод, призначений для перетворення змінного струму низької частоти (до 5 кГц);

VS - тиристор - напівпровідниковий прилад із двома стійкими станами, що має змогу переключатися із закритого стану у відкритий і навпаки:

VS1- тиристор, що не зачиняється;

VS2- тиристор, що зачиняється;

VS3- оптронний тиристор - керується за допомогою світлового сигналу від світлодіода, що розташований у середині корпусу приладу;

VT - транзистор - цілком керований напівпровідниковий прилад, що має три і більш виводів, призначений для комутації електричних кіл.

2. Вивчення роботи діодів і тиристорів (із природною комутацією зворотною напругою мережі живлення).

2.1. Комутація силового напівпровідникового діода.

Зібрати схему рис.2.1 для:

- а) прямого вмикання VD;
- б) зворотного вмикання VD;

Увімкнути тумблер "Живлення". Режим роботи приладу контролюється індикаторною лампою HL. Для кожного з вмикань VD зробити оцінку накали лампи. Результати спостережень занести в табл.1. Вимкнути тумблер "Живлення".

Зібрати схему з увімкненням VD у мережу змінного струму (рис.2.1, в). Дослідження роботи схеми провести електронним осцилографом. Зафіксувати на рис.2.2 осцилограми напруги на лампі, на діоді.

2.2. Дослідження роботи тиристора, що не зачиняється.

Відкривання тиристора при роботі з прямою напругою здійснюється по колу керування (керуючий електрод – катод) подаванням струму I_k від джерела U_k . Величина I_k визначає U пер.- значення прямої напруги, при якій відбувається переключення тиристора у відкритий стан. При визначеному $I_{k\text{від}}$ (струм, що відкриває) відбувається випрямлення вольт-амперної характеристики тиристора і він відкривається незалежно від значення прикладеної прямої напруги. Таким чином, струм керування I_k повинний бути $\geq I_{k\text{від}}$. При цьому струм і напруга керування не повинні перевищувати припустимих значень $I_{k\text{мах}}$ і $U_{k\text{мах}}$. Для даного тиристора $VS1$ $I_{k\text{мах}} = 0.2$ А.

Зібрати коло за схемою рис.2.3, а (змінний струм). Струм керування контролюється міліамперметром, увімкненим у коло керування тиристора, значення регулюється потенціометром RP . Стан кола контролюється з накалу лампи HL , а також за допомогою осцилографа.

Увімкнути тумблер "Живлення". Проконтролювати стан тиристора при відсутності струму керування.

Подати U_k на керуючий електрод, натиснувши кнопку $SA1$. Змінюючи опір потенціометра RP від максимального значення до значення, що відповідає відкритому стану тиристора, спостерігати зміну накалу HL . Установити, як змінюється напруга переключення тиристора, оцінити це значення за допомогою осцилографа. Результати спостережень, що відповідають різним значенням I_k , занести в табл.2. Осцилограми напруги на лампі u_H (i_H) і на тиристорі u_{VS} для значень $I_k < I_{k\text{від}}$. (напруга переключення > 0) і $I_k = I_{k\text{від}}$. зобразити на рис.2.4.

Відімкнути струм керування. Розімкнути коло керуючого електрода (I_k), відпустивши кнопку $SA1$. Чи змінився стан схеми?

Зібрати схему рис.2.2,б (постійний струм). Кнопка $SA1$ - розімкнута – що відбудеться із увімкненням $SA2$?

Увімкнути $SA1$, встановити значення $I_k = I_{k\text{від}}$., потім увімкнути $SA2$ – оцінити стан тиристора. Розімкнути $SA1$, що змінилося? Розімкнути кнопку $SA2$. Що відбулося?

Заповнити таблицю 3.

2.3. Дослідження роботи оптронного тиристора.

Зібрати коло за схемою рис.2.3.

Виконати дослідження відповідно до п.2.2,а.

Переконатися, що схеми на рис.2.2,а і 2.3 працюють однаково.

3. Штучна комутація тиристорів.

При живленні схеми, що містить тиристор, від джерела постійного струму потрібне спеціальне коло комутації, що містить конденсатор для накопичування енергії, необхідної для закривання тиристора зворотною напругою.

Зібрати схему рис.3.

Увімкнути тумблер "Живлення".

Замкнути SA1. Встановити струм керування $I_k = I_{k\text{від}}$. (див.п.2.2.). Переконайтеся в тому, що тиристор відкритий. При цьому конденсатор С заряджається крізь SA2 і резистор R.

Відпустивши кнопку SA1, зняти U_k з керуючого електрода. Переконайтеся в тому, що стан тиристора не змінився (VS1 відкритий).

Натиснути кнопку SA2.

Переконайтеся в тому, що тиристор закритий. Чому?

4. Дослідження роботи цілком керованих вентилів (транзистор і двоопераційний тиристор, що замикається).

4.1. Оцінка здатності відкривання і закривання двоопераційного тиристора.

Тиристор, що замикається, на відміну від звичайних тиристорів, здатний переключатися з відкритого стану в закритий з подаванням сигналу негативної полярності (I_k) на керуючий електрод.

Зібрати коло за схемою рис.4.1.

Для відмикання тиристора VS2 натиснути кнопку SA1. При цьому керуючий електрод (KE) підключено до джерела напруги керування позитивної полярності. Визначити стан схеми. Результати спостережень занести в табл.4. Відпустити кнопку SA1. Які зміни відбулися? Заповнити другий рядок табл.4.

Натиснути кнопку SA2, підключивши KE до джерела U_k негативної полярності. До чого це привело? Відпустити кнопку SA2. Результати спостережень записати в третій рядок табл.4.

4.2. Дослідження роботи напівпровідникового ключа на біполярному транзисторі.

Звичайно в ключовому режимі використовується транзистор, увімкнений за схемою з загальним емітером.

Зібрати схему рис.4.2.

Напруга керування, що дозволяє змінювати співвідношення між тривалістю відкритого (режим насичення) і закритого (режим відсікання) стану транзистора VT, підводиться до кола емітер-база. Коло емітер-колектор використовується як переривач струму, що створюється джерелом живлення в навантаженні HL.

Увімкнути живлення – переконайтеся, що транзистор замкнений. Натиснути кнопку SA2. Обертаючи потенціометр RP, збільшувати струм керування I_b , контролювати I_k і спостерігати при цьому зміну накалу лампи HL.

Відпустити кнопку SA2. Що відбулося? Відключити тумблер "Живлення". Результати спостережень записати в табл.5. Побудувати перехідну характеристику транзистора $I_k = f(I_b)$, позначити на ній режим відсікання і насичення транзистора.

Оформлення звіту

Відповісти письмово на питання.

1. Розшифрувати позначення приладів: Т133-320-10-6; Т3142-80-12-3; Д143-630-12.
2. За якими умовами відбувається відкривання тиристора?
3. Умови закриття тиристора?
4. Оцінити вплив величини струму керування I_k на відкривання тиристора.
5. Чи можна керувати тиристором після того, як імпульс керування забезпечив його відкривання? Відповідь пояснити.
6. У чому подібність між тиристором і діодом? У чому різниця?
7. Що таке природна і штучна комутація?
8. У чому різниця між роботою тиристора і транзистора в ключовому режимі?

**Звіт про лабораторну роботу N 2
Дослідження напівпровідникових приладів як комутаційних елементів у
силових перетворювачах.**

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

2. Вивчення роботи діодів і тиристорів (із природною комутацією).

2.1. Комутація напівпровідникового діода.

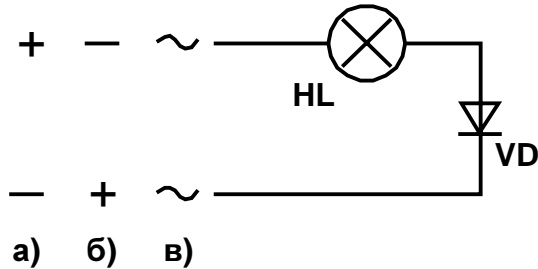


Рис.2.1. Принципова схема кола, що досліджується:

- а) з прямим вмиканням VD;
- б) з зворотним вмиканням VD;
- в) з вмиканням VD в мережу змінного струму.

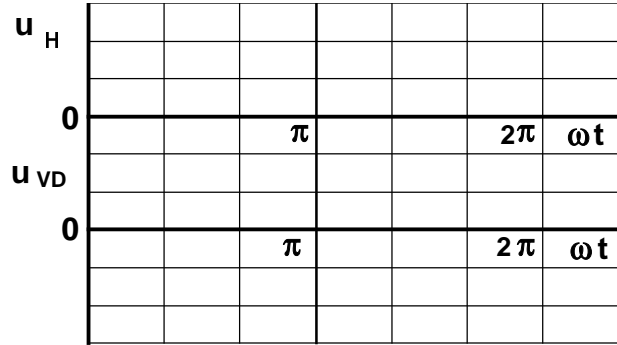


Рис.2.2 Осцилограми напруг для схеми рис. 2.1,в

Таблиця 1

Вмикання	Пряме	Зворотне	Змінний струм
Оцінка накалу HL			
Стан діода			

2.2. Дослідження роботи тиристора, що не зачиняється.

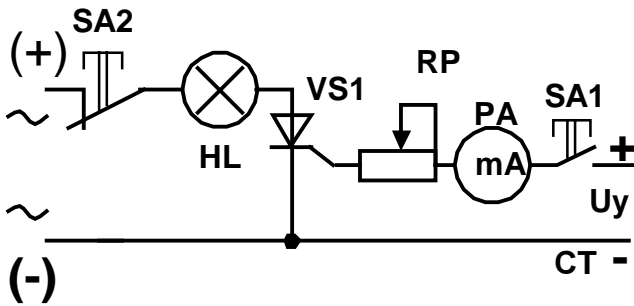


Рис.2.3. Принципова схема вмикання тиристора, що не зачиняється:

- а) у мережу змінної напруги;
- б) у мережу постійної напруги

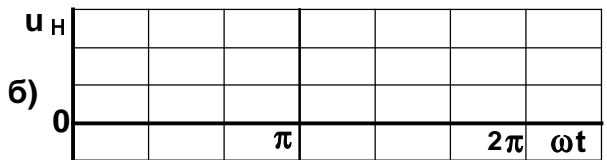
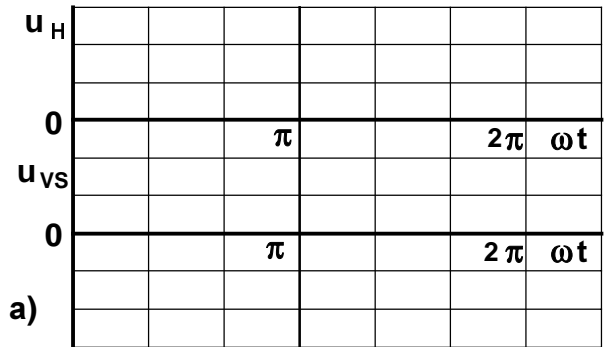


Рис.2.4. Осцилограми напруг:

- а) при $I_y < I_{y0TP}$;
- б) при $I_y > I_{y0TP}$

Таблиця 2

I_k , mA	U переключення, В	Стан VS1	Стан HL	Стан SA1
				Закритий
				Закритий
				Закритий
				Відкритий

Таблиця 3

Ik, mA	Стан VS1	Стан HL	Стан SA1	Стан SA2
			Закритий	Закритий
			Закритий	Закритий
			Відкритий	Закритий
			Будь-який	Відкритий

2.3. Дослідження роботи оптронного тиристора.

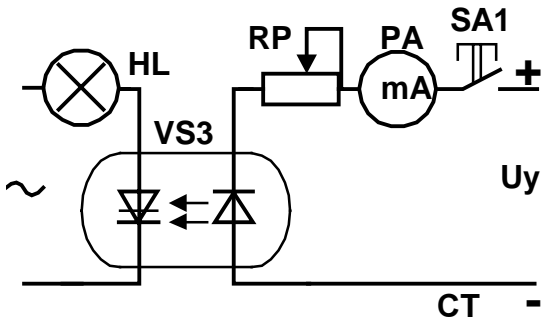


Рис.2.5. Принципова схема вмикання оптронного тиристора

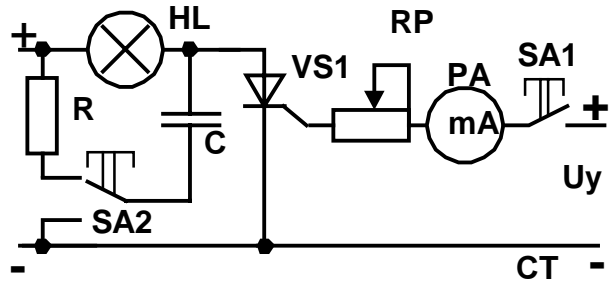


Рис.3. Принципова схема вмикання тиристора із штучною комутацією

3. Штучна комутація тиристорів.

4. Дослідження роботи цілком керованих вентилів.

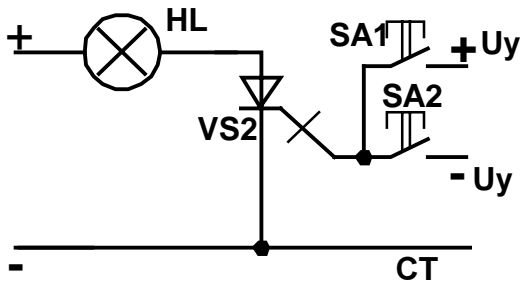


Рис.4.1. Принципова схема вмикання тиристора, що зачиняється

Таблиця 4

Стан VS	Стан HL	Стан SA1	Стан SA2
		закритий	відкритий
		відкритий	відкритий
		відкритий	закритий

Таблиця 5

Iб, mA	Ik, mA	Накал HL

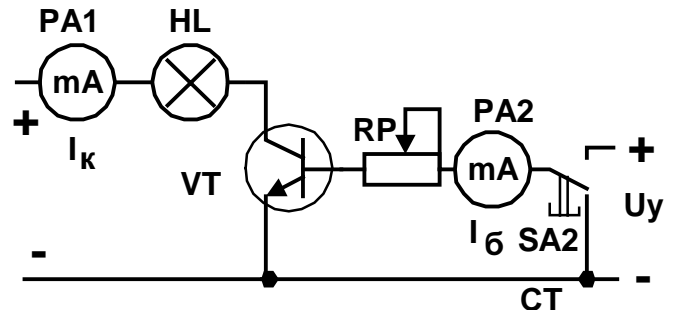


Рис.4.2. Принципова схема вмикання біполярного транзистора

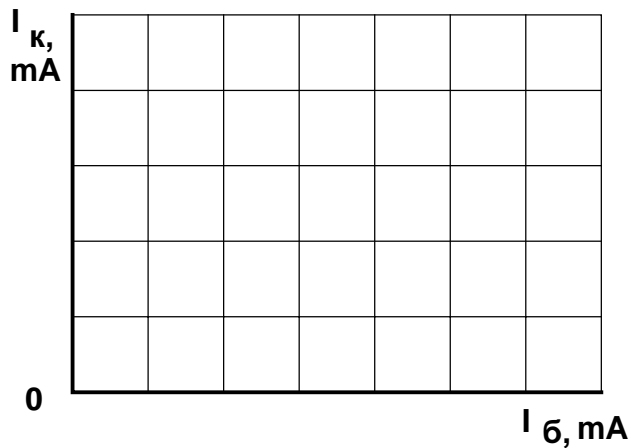


Рис.4.3. Перехідна характеристика транзистора

Відповісти письмово на питання:

1. Розшифрувати позначення приладів: Т133-320-10-6; Т3142-80-12-3; Д143-630-12.

2. За якими умовами відбувається відкривання тиристора?

--

3. Умови закривання тиристора?

--

4. Оцінити вплив величини струму керування I_k на відкривання тиристора.

--

5. Чи можна керувати тиристором після того, як імпульс керування забезпечив його відкривання? Відповідь пояснити.

--

6. У чому полягає подібність між тиристором і діодом? У чому різниця?

--

7. Що таке природна і штучна комутація?

--

8. У чому різниця між роботою тиристора і транзистора у ключовому режимі?

--

ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРОВАНОГО ВИПРЯМЛЯЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: дослідження схеми однофазного мостового керованого випрямляча (КВ) при роботі на активне та активно-індуктивне навантаження.

Домашня підготовка

- а) вивчити /2/ с.226-248, п.п.4.2 /1/, п.п.32.19/5/;
- б) вивчити дане керівництво;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

1. Ознайомлення з об'єктом дослідження.

Лабораторну роботу виконують на універсальному лабораторному стенді з перетворювальної техніки. Принципова схема досліджуемого кола наведена на рис. 1 бланка звіту про лабораторну роботу. Містить у собі КВ, виконаний за однофазною мостовою схемою із системою імпульсно-фазового керування (СІФК). Навантаженням є активний опір R_H (лампа накаливання EL), для згладжування пульсацій випрямленої напруги (струму) – дросель, що згладжує, Др (LH) із шунтуючим вимикачем S1. У схемі передбачений комплект вимірювальних приладів:

рV1, рA1 – вимірювання напруги U_1 і струму I_1 на вході КВ (діючі значення);

ВI₁ - вимірювальний шунт для контролювання миттєвого значення струму i_1 ;

рV2, рA2 – вимірювання напруги U_d і струму I_d на виході КВ (середні значення);

рV3 - напруга керування U_k на вході СІФК.

Для візуального спостереження сигналів у схемі використовується двоканальний осцилограф ЕО, що підключається до відповідних затискачів схеми (наприклад, вихідна напруга випрямляча $u_B = u_{73}$ – напруга точки 7 щодо точки 3).

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчення експериментального стенду.

Оглянути лабораторний стенд: знайти на лицьовій панелі стенду усі елементи схеми (рис.1).

Підготовка стенда до роботи:

Увімкнути стенд, уставивши вилку в мережу 220 В.

Увімкнути електронний осцилограф (ЕО) до мережі і дати йому прогрітись протягом 2-3 хв.

2. Дослідження роботи КВ на активне навантаження

З'єднати затискачі 4,5, вимикач SA1 у стан «замкнуто» (Др - зашунтований). ЕО підключити на вихід КВ ($u_B = u_{73}$). Подати живлення на схему. Змінюванням U_k на вході СІФК (потенціометр РР «регул. U_k ») домогтися повного відкриття тиристорів схеми ($U_d = \text{максим.}$). При цьому

кут відкривання тиристорів $\alpha=0$. На екрані ЕО домогтися стійкого зображення кривої напруги випрямляча $u_H=u_B=u_{73}$ (пунктир на рис.2), при цьому для зручності визначення бажано прив'язати зображення до координатної сітки (розподілу на екрані ЕО). Виконати вимірювання і занести в бланк звіту значення U_1 та U_d .

Підключити другий канал ЕО до керуючого електроду тиристорів VS1, VS3 (u_{13} , u_{23} відповідно). При цьому точка 3 є спільною для схеми.

Досліджувати роботу схеми із різними значеннями U_k і відповідно кута α від 0 до 180° . Результати занести в табл.1. Осцилограми, що відповідають $\alpha=30^\circ$ показати на рис.2.

3. Дослідження роботи КВ на активно-індуктивне навантаження

Увімкнути у коло випрямленого струму дросель, що згладжує, Др - розімкнути S1. Підключити ЕО до виходу КВ $u_B=u_{37}$ і до ЕЛ $u_H=i_H * R_H=u_{47}$ (7 – спільна точка). Досліджувати роботу схеми із різними значеннями α (регулятор U_k). При цьому бажано одержати 5-6 точок у межах від $I_{1\text{мін}}$ ($I_{1\text{мін}}$ – мінімальне значення струму, що вимірюється амперметром рА1), до $I_{1\text{мах}}$ – при $\alpha=0$. Результати занести в табл.3. Показати на рис.3,а осцилограми напруги $u_B=u_{37}$ і $u_H=i_H * R_H=u_{47}$ для $\alpha=0$.

Для значення $\alpha=20^\circ-40^\circ$ показати на рис.3,б, в осцилограми напруги u_B , u_H , $u_1=u_{89}$ і струму $i_1=u_{10,8}$ (з шунта ВІ₁).

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Виконати розрахунок регульовочної характеристики КВ на активне навантаження, вважати, що вентиля схеми ідеальні (табл.2). Побудувати на рис.4 залежність $u_d(\alpha)$ за даними табл.1 і табл.2, порівняти і проаналізувати.

Виконати розрахунок показників табл.3 за формулами:

$P_d=U_d * I_d$ -активна потужність на виході КВ;

$S_1=U_1 * I_1$ -повна потужність, що споживається від джерела;

(вважати $\alpha \approx \varphi_{(1)}$) $\cos\alpha \approx \cos\varphi_{(1)} = P_1 / S_1 = 1,1 P_d / S_1$;

$\chi=2\sqrt{2} \cos\alpha/\pi$ - коефіцієнт потужності КВ;

За результатами побудувати залежності $u_d(\alpha)$ і $\chi(\alpha)$ з активно - індуктивним навантаженням (рис.5,б).

ВІДПОВІСТІ ПИСЬМОВО НА ПИТАННЯ:

1. Чим пояснити, що розрахункове значення U_d для ідеального випрямляча (табл.2) більше значення, що вимірюється (табл.1).

2. У чому різниця роботи КВ з активним та активно-індуктивним навантаженням.

3. Який характер потужності, що споживається КВ з мережі. Про що свідчать осцилограми на рис.3,в?

4. Призначення СІФК. Як змінюються імпульси керування тиристорами із зміною U_k ?

5. На підставі отриманих результатів розрахувати параметри силового трансформатора для живлення схеми, що досліджується від мережі 220 В, обґрунтувати вибір тиристорів.

Звіт про лабораторну роботу N 3

Дослідження керованого випрямляча постійного струму

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

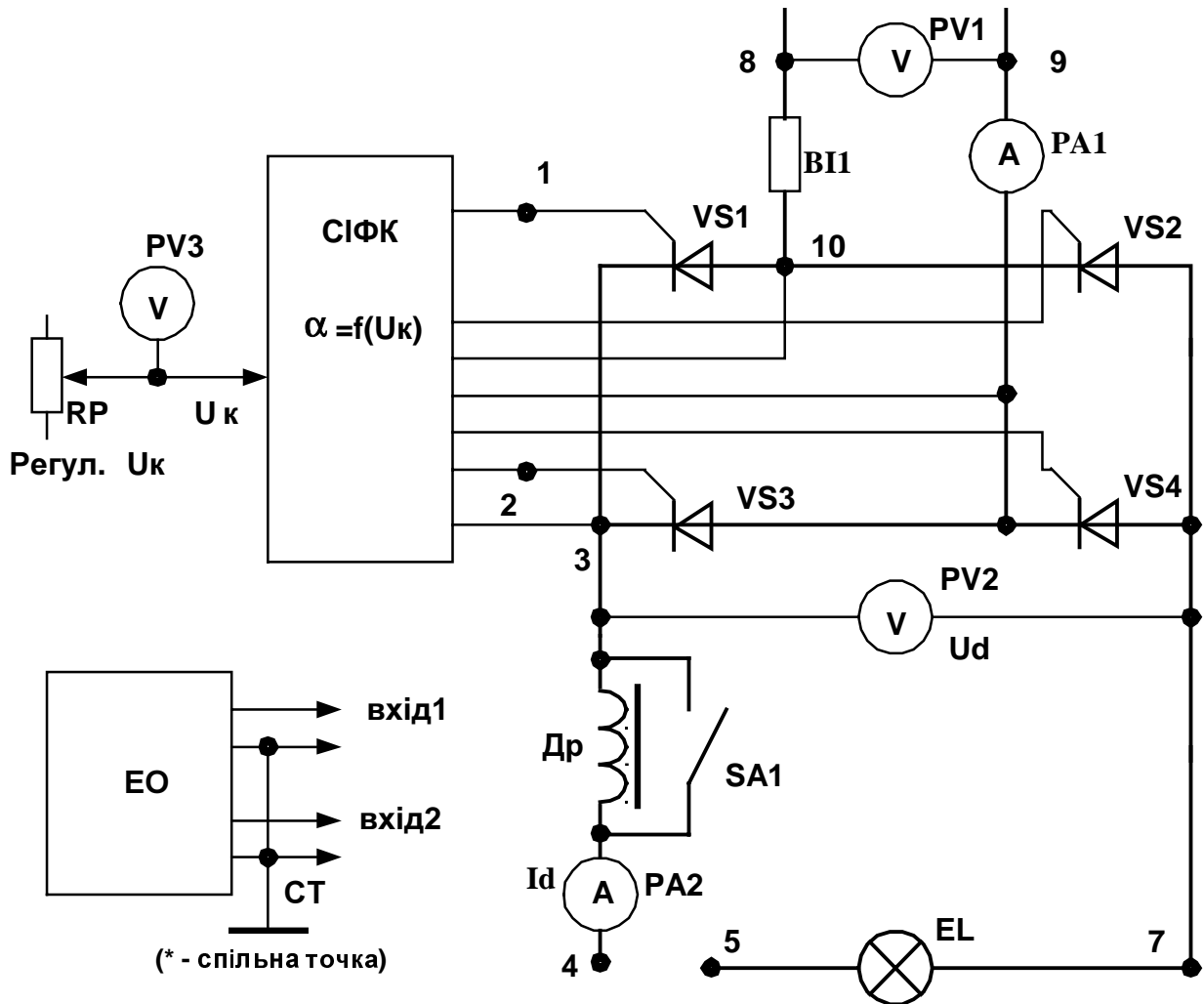


Рис.1 Схема експериментального стану

2. Дослідження роботи КВ з активним навантаженням

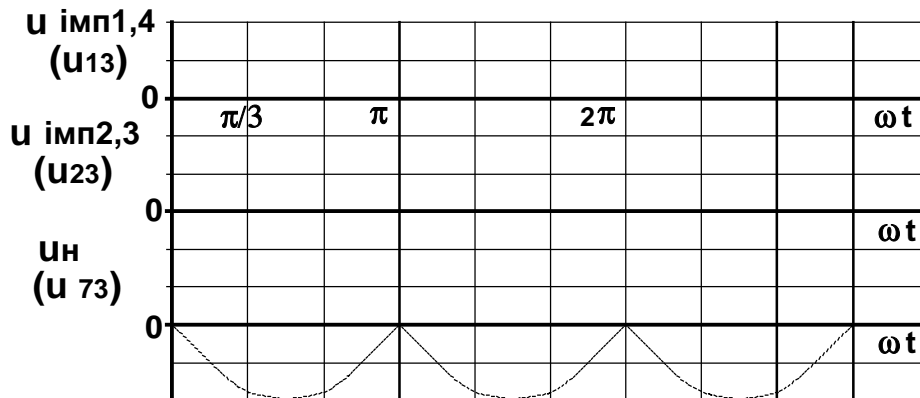


Рис.2 Осцилограми роботи КВ з активним навантаженням

$U_1 =$	В	$U_{dmax} =$	В
---------	---	--------------	---

Експериментальні дані (R_H)

Таблиця 1

U_k, B							
$\alpha, \text{град}$							
U_d, B							

$U_0 = 0,9 \cdot U_1 =$	B
-------------------------	-----

Розрахунок регульовочної характеристики (R_H)

Таблиця 2

$\alpha, \text{град.}$	0	30	60	90	120	150	180
$U_d = U_0(1 + \cos\alpha)/2, B$							

3. Дослідження роботи КВ з активно-індуктивним навантаженням

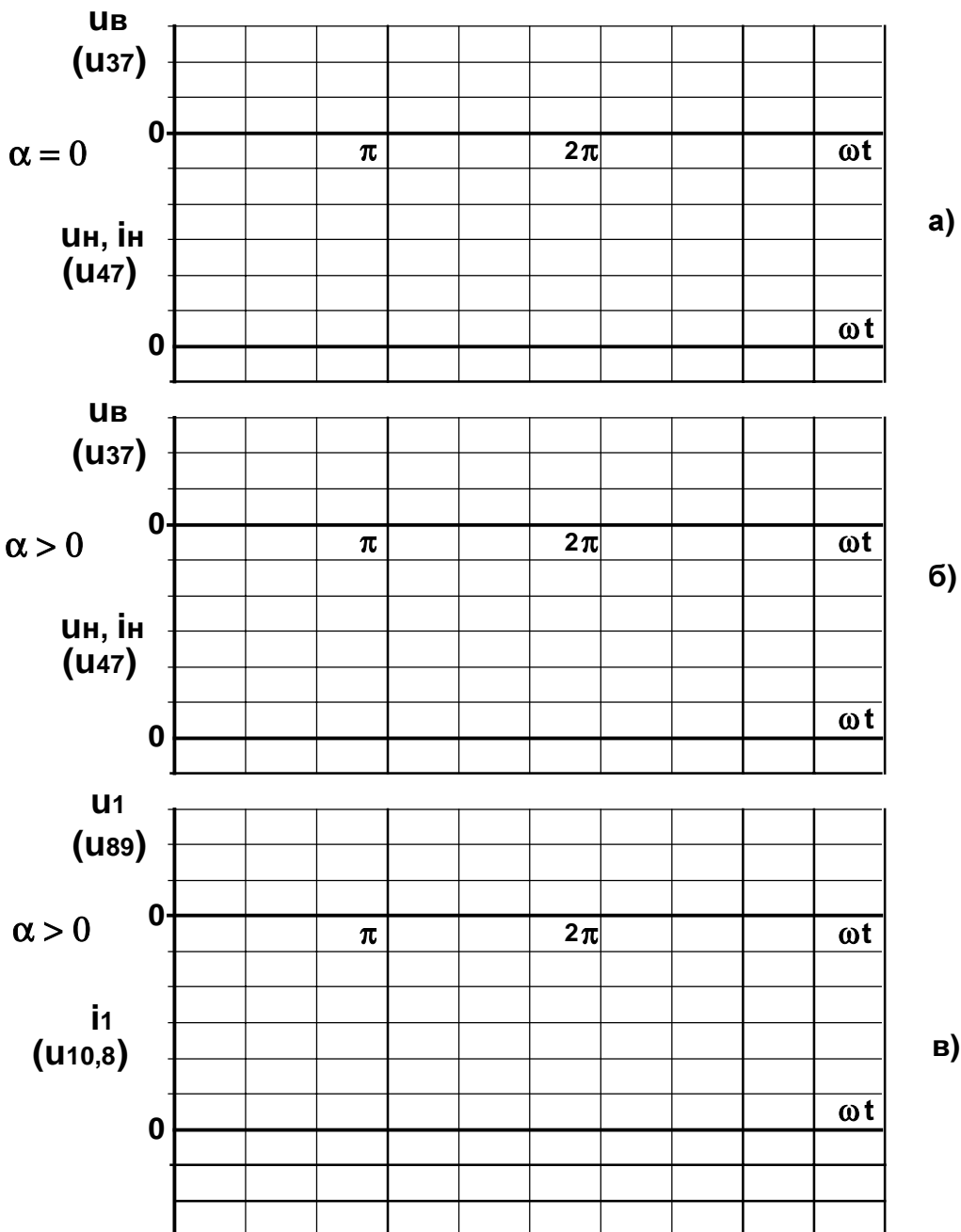


Рис.3 Осцилограми роботи КВ з активно-індуктивним навантаженням

Таблиця 3

Вимірювання					Розрахунок				
$U_k, В$	$U_d, В$	$I_d, А$	$U_1, В$	$I_1, А$	$P_d, ВТ$	$S_1, ВА$	$\cos\alpha$	χ	$\alpha, \text{град}$

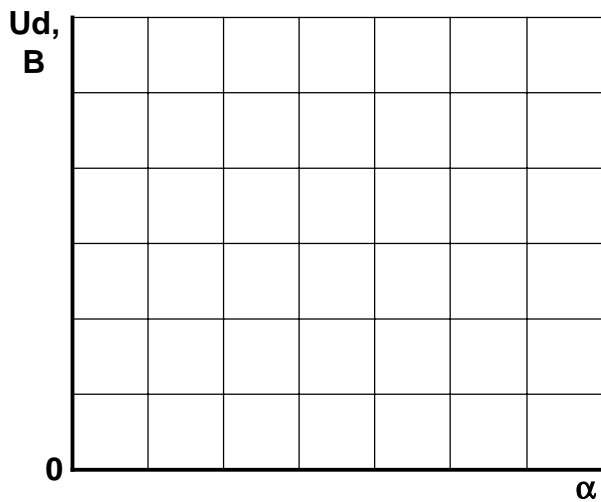


Рис.4 Регульовочна характеристика КВ з активним навантаженням

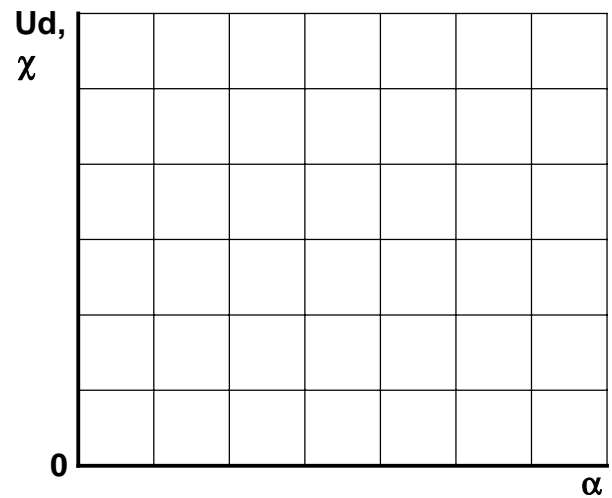


Рис.5 Регульовочна характеристика КВ з активно-індуктивним навантаженням

Відповіді на питання:

Лабораторна робота N4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТИРИСТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: дослідження роботи схеми тиристорного перетворювача (ТП) постійного струму при роботі на проти - ЕРС (випрямний режим) і в режимі інвертора, веденого мережею.

Домашня підготовка

- а) вивчити /2/ с.226-248, п.п. 4.2-4.3/1/, п.п.32.19 /5/;
- б) вивчити дане керівництво;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

1. Ознайомлення з об'єктом дослідження.

Лабораторна робота виконується на універсальному лабораторному стенді з перетворювальною технікою. Принципова схема кола, що досліджується, наведена на рис. 1 бланка звіту про лабораторну роботу.

Містить у собі: ТП, виконаний за однофазною мостовою схемою із системою імпульсно-фазового керування (СІФК); дросель, що згладжує, Др (L_H) із вимикачем, що шунтує SA1, для згладжування пульсацій випрямної напруги (струму); джерело ЕРС E_i , полярність підключення якого можна змінити перемикачем SA2.

У схемі передбачений комплект вимірювальних приладів:

$pV1$, $pA1$ – вимірювання напруги U_1 і струму I_1 на вході КВ (діючі значення);

VI_1 - вимірювальний шунт для контролю миттєвого значення вхідного струму ТП i_1 ;

Vid - вимірювальний шунт для контролю миттєвого значення випрямного струму i_d ;

$pV2$, $pA2$ – вимір напруги U_d і струму I_d на виході КВ (середні значення);

$pV3$ - напруга керування U_k на вході СІФК.

Для візуального спостереження сигналів у схемі використовується двоканальний осцилограф ЕО, що підключається до відповідних затискачів схеми (наприклад, вихідна випрямлена напруга $u_B = u_{73}$ – напруга точки 7 відносно точки 3).

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчення експериментального стенду.

Оглянути лабораторний стенд: знайти на лицьовій панелі стенда усі елементи схеми (рис.1).

Підготовка стенда до роботи:

Увімкнути стенд, уставивши вилку до мережі 220 В.

Увімкнути електронний осцилограф (ЕО) у мережу і дати йому прогрітись протягом 2-3 хв.

2. Дослідження роботи ТП у випрямному режимі

Випрямний режим роботи має місце при роботі ТП на проти - ЕРС (наприклад, двигун постійного струму, акумуляторну батарею і т.п.). Для цього необхідно з'єднати затискачі 4 і 6. Увімкнути в коло Др, розімкнувши вимикач SA1, установити перемикачем SA2 (стан 1) відповідну полярність Еі (назустріч провідному стану тиристорів ТП).

Підключити ЕО до виходу ТП (u_{37}). Подати живлення на схему, змінюючи U_k на вході СІФК (потенціометр «рег. U_k »), встановити кут $\alpha=180^\circ$. При цьому тиристири цілком зачинені і вольтметр рV2 показує значення Еі. Записати це значення і розрахувати кут α_{\max} , при якому середнє значення випрямної напруги $U_d = E_i = U_{d0} \cdot \cos(\alpha_{\max})$. Значення U_{d0} відповідно $\alpha=0^\circ$ Виконати вимірювання із розімкнутими затискачами 4,6 (Еі вимкнена).

З'єднати затискачі 4 і 6. Осцилограми напруг, що відповідають $\alpha=0^\circ$ показати на рис.2,а (масштабі u_B і Еі - однакові).

Досліджувати роботу схеми із різними значеннями кута α від 0 до α_{\max} . Результати занести в табл.1. Встановити значення $\alpha=\alpha_{gr}$, при якому випрямний струм стає переривним. Відповідні осцилограми показати на рис.2,б.

Осцилограми вхідної напруги u_1 і струму i_1 відповідні значенню $\alpha_{gr}>\alpha>0$ показати на рис.2,в.

Установити кут $\alpha \approx \pi/2$.

3. Дослідження роботи ТП у режимі інвертора, веденого мережею

Установити перемикач SA2 у положення 2. При цьому напрямок Еі відповідає провідному стану тиристорів ТП. Досліджувати роботу схеми при значеннях кута $\pi>\alpha>\pi/2$.

Увага: щоб уникнути «проривання» інвертора кут α не повинний перевищувати 160° - 170° ! Результати занести в табл.2. Осцилограми, відповідні значенню $\alpha = 120^\circ$ - 150° показати на рис. 3а,б.

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Побудувати на рис.4 залежність $u_d(\alpha)$ за даними табл.1 і табл.2.

ВІДПОВІСТІ ПИСЬМОВО НА ПИТАННЯ:

1. Охарактеризуйте енергетичні перетворення у випрямному режимі. Чим це підтверджується на рис.2, в?
2. Чому випрямний режим можливий тільки при $\alpha \leq \alpha_{\max}$?
3. Що необхідно для переведення ТП у інверторний режим?
4. Що підтверджують осцилограми на рис.3,б.
5. Що таке «проривання» інвертора?

Звіт про лабораторну роботу N 4

Дослідження тиристорного перетворювача постійного струму

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

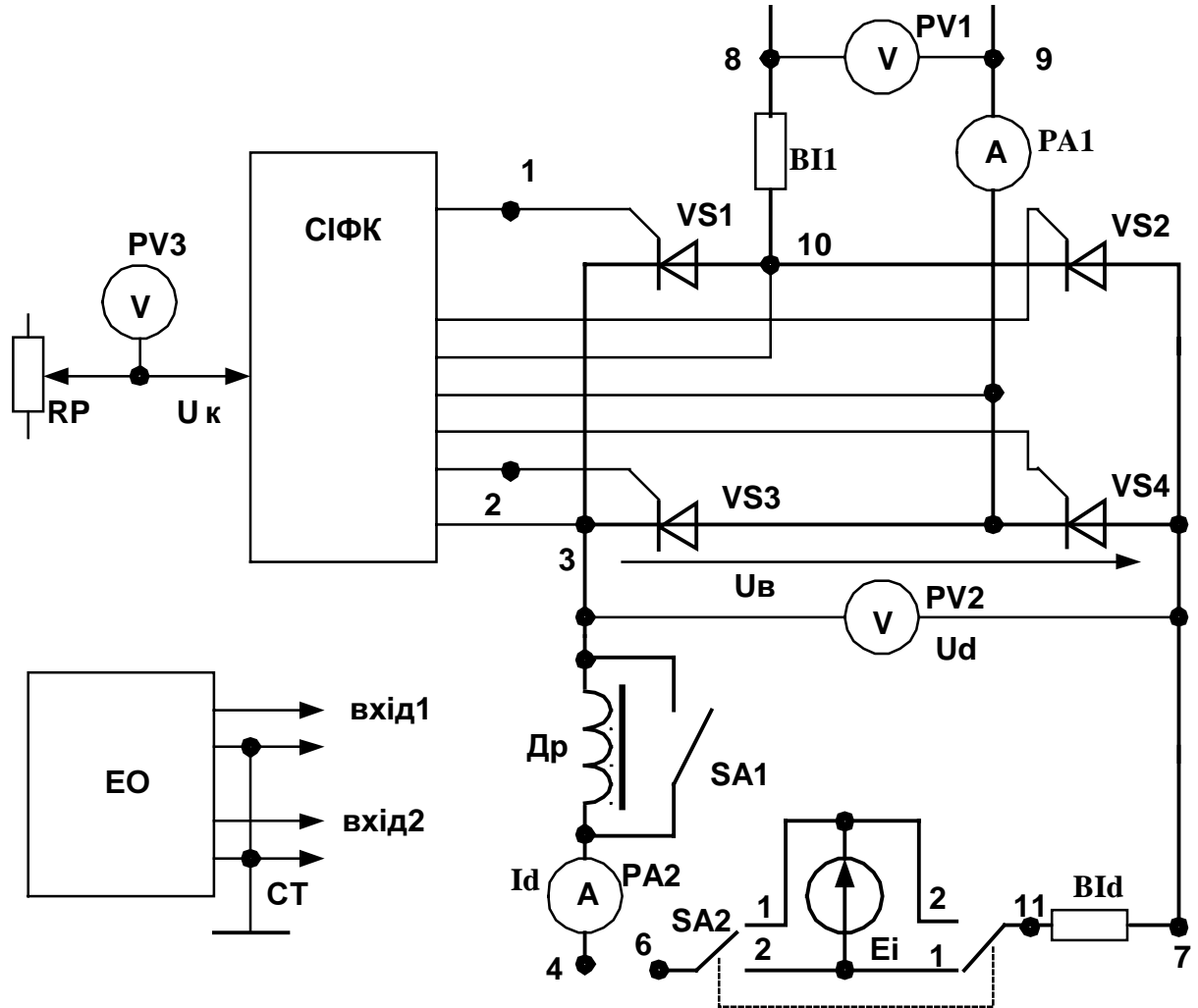


Рис.1 Схема експериментального стенду

Дослідження роботи ТП у випрямному режимі

$E_i =$, В	$U_{do} =$, В	$\alpha_{\max} = \arccos (E_i / U_{do}) =$
-------------	----------------	--

Регульовочна характеристика ТП у випрямному режимі Таблиця 1

α , град					
U_d , В					
I_d , А					

3. Дослідження роботи ТП у режимі інвертора, веденого мережею

Регульовочна характеристика ТП в інверторному режимі

Таблиця 2

α, град						
U_d, В						
I_d, А						

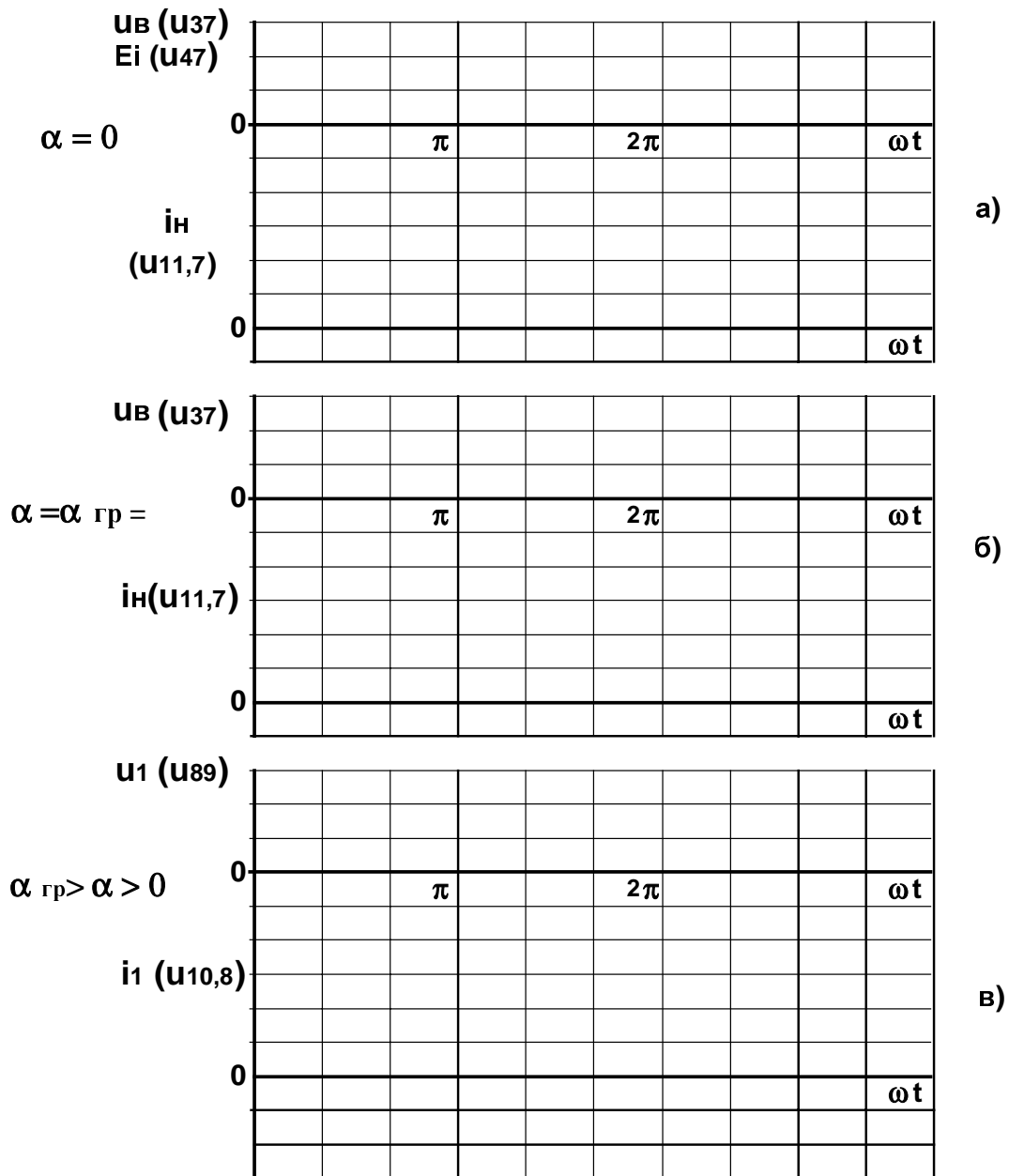


Рис.2 Осцилограми роботи ТП у випрямному режимі

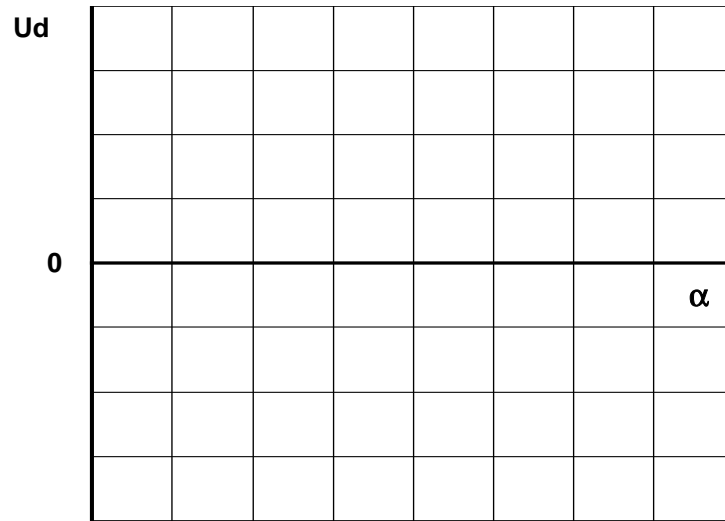


Рис.4 Регульовочна характеристика ТП

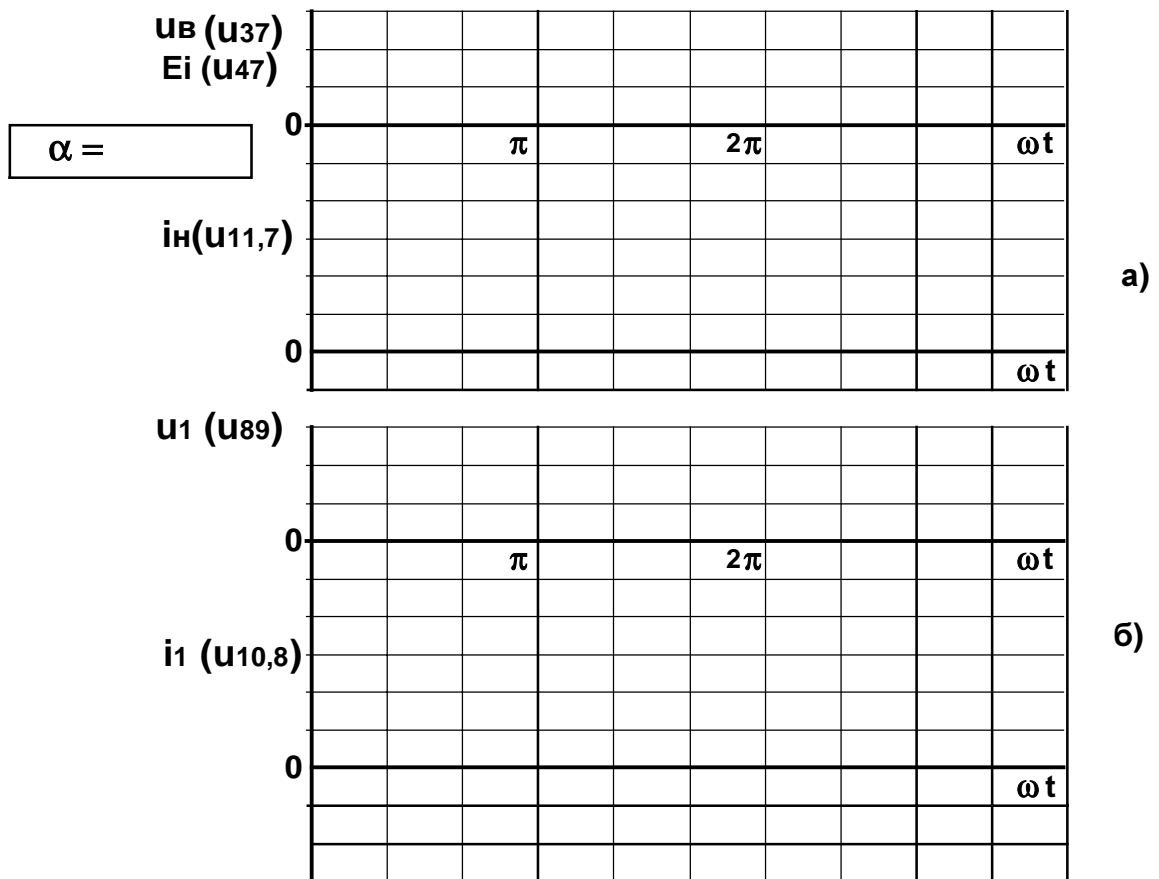


Рис.3 Осцилограми роботи ТП в інверторному режимі

Відповіді на питання

Лабораторна робота N5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА ПЕРЕМІННОЇ НАПРУГИ

Мета роботи: вивчення схеми і принципу роботи однофазного тиристорного регулятора змінної напруги (ТРН); дослідження його характеристик з активним та активно-індуктивним навантаженням.

Домашня підготовка

- а) вивчити /23/ с.226-248, п.п. 4.3 /1/, /5/ п.п.32.19;
- б) вивчити дане курівництво;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

Порядок виконання роботи**1. Ознайомлення з об'єктом дослідження.**

Лабораторна робота виконується на універсальному лабораторному стенді з перетворювальної техніки. Принципова схема кола, що досліджується, наведена на рис. 1 бланка звіту про лабораторну роботу.

Пристрій, що досліджується - однофазний регулятор змінної напруги на тиристорах VS1 і VS2. Вибирання виду навантаження (активне - R або активно-індуктивне R-L) здійснюється перемикачем SA3. Вольтметр PV за допомогою перемикача SA2 підключається або до входу схеми для вимірювання значення змінної напруги живлення або до навантаження. Тиристри керуються СІФК. При цьому кут відкривання тиристорів α змінюється потенціометром RP1. Якісно судити про величину напруги на навантаженні дозволяє лампа HL, що увімкнена паралельно навантаженню.

2. Підготовка стенда до роботи.

Увімкнути стенд.

Увімкнути електронний осцилограф (ЕО) у мережу і дати йому прогрітисся протягом 2-3 хв.

Підключити ЕО до клем 1 і 2 і встановити на екрані стійке зображення 1-2 періодів синусоїди напруги живлення ТРН (перемикач синхронізації - у стан "від мережі").

Увімкнути живлення схеми тумблером SA1, переключити тумблер SA2 у верхній (за схемою) стан і вимірити величину напруги живлення. Записати це значення в табл.1.

Для вимірювання вихідної напруги встановити SA2 у нижній стан і підключити осцилограф до клем 5 і 3 (3- спільна точка). Замкнути SA3 (активне навантаження) і домогтися повного відкриття тиристорів $\alpha=0^\circ$ (вихідна напруга синусоїдальна).

Змінити характер навантаження (стан регулятора RP1 - незмінний) на активно-індуктивний (розімкнути SA3). Переконавшись, що напруга і струм (u_{43}) синусоїдальні, відповідні осцилограми накреслити на рис.2. Визначити і відзначити на них кут зсуву фаз ϕ .

Повільно збільшуючи кут α контролювати форму та значення напруги і струму на виході ТРН. Визначити значення α , при якому форма напруги викривляється й у кривій вихідного струму з'являються безструмові паузи (показання вольтметра починають зменшуватися).

3. Дослідження регульовочної характеристики.

Спостерігаючи на екрані ЕО форму напруги на навантаженні, по черзі установити регулятором RP1 за допомогою ЕО кут керування $\alpha = 0, \alpha_{кр}, 30, 60, 90, 120, 150$ і 180° . Вимірити величину вихідної напруги для R і R-L навантаження (за однаковими значеннями α), змінюючи її характер тумблером SA3. Результати вимірювання записати в табл.1.

Нарисувати осцилограми напруги на навантаженні для $\alpha = 60^\circ$ і $\alpha = 120^\circ$. Для R-L - навантаження, крім того, зняти осцилограми струму в навантаженні, якщо осцилограф підключати до затискачів 3 і 4 (u_{43}). За наявності двоканального осцилографа, напругу і струм можна спостерігати одночасно, підключивши спільну точку (СТ) ЕО до затискача 3, вхід Y1 до затискача 5 (напруга), вхід Y2 - до затискача 4 (струм). Отримані осцилограми показати на рис. 3.

По закінченні роботи вимкнути стенд і ЕО від мережі.

Оформлення звіту

1. Розрахувати значення вихідної напруги ТРН у відносних одиницях (в.о.): $U_{во} = U_{вих}/U_{мережі}$ для кожного зі значень. Отримані значення занести в табл. 1.
2. Виконати на рис. 4 регульовочні характеристики ТРН для R - і R-L - навантаження в іменованих і відносних одиницях.

Відповісти письмово на питання:

1. Область застосування ТРН.
2. Як впливає характер навантаження на форму вихідної напруги і регульовочну характеристику?
3. Як пояснити, що при роботі з активно-індуктивним навантаженням регулювання можливе лише з кутами керування $\alpha > \alpha_{кр}$.
4. Вважаючи $U_{мережі} = 220$ В і $R_{нагр} = 18$ Ом знайти необхідне значення кута (користуючись характеристикою рис.2 для в.о.) для одержання в навантаженні заданого значення потужності $P = 100$ Н [Ут], де N - номер за журналом. Привести розрахунок.

Звіт про лабораторну роботу № 5 Дослідження тиристорного регулятора змінної напруги

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

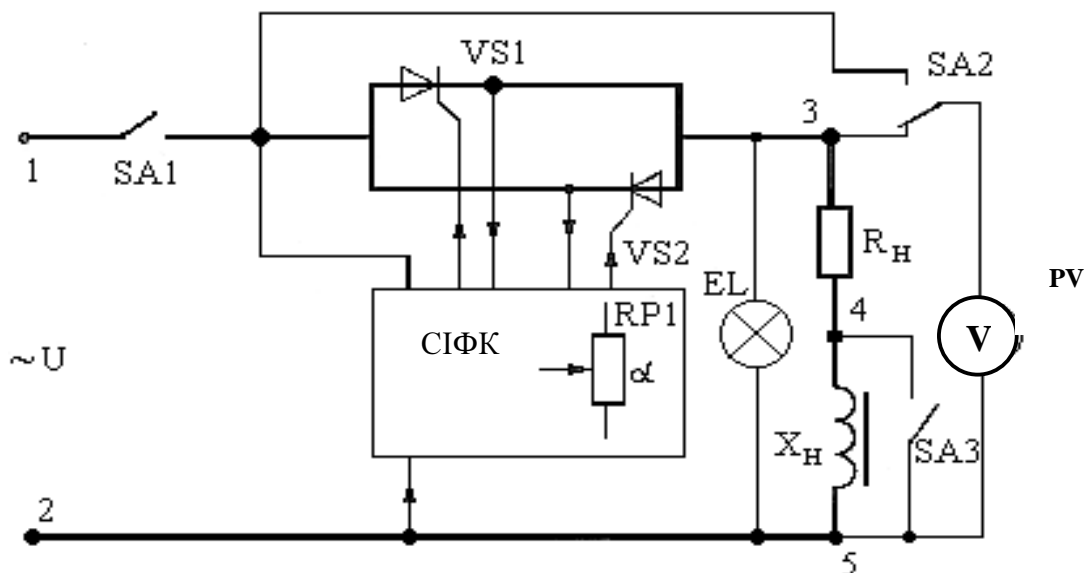


Рис.1. Принципова схема кола, що досліджується

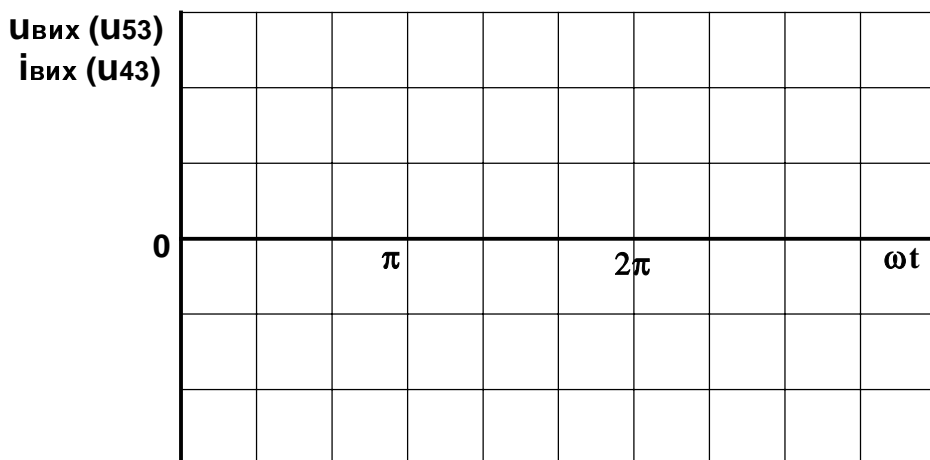


Рис.2 Осцилограми вихідної напруги і струму $\alpha=0$

$\varphi =$	$\alpha_{кр} =$
-------------	-----------------

Дослідження регульовочної характеристики ТРН

Таблиця 1

α , град							
$U_{вих} (R_H)$	В						
	в.о.						
$U_{вих} (R-L)$	В						
	в.о.						
$U_{мережі} =$							

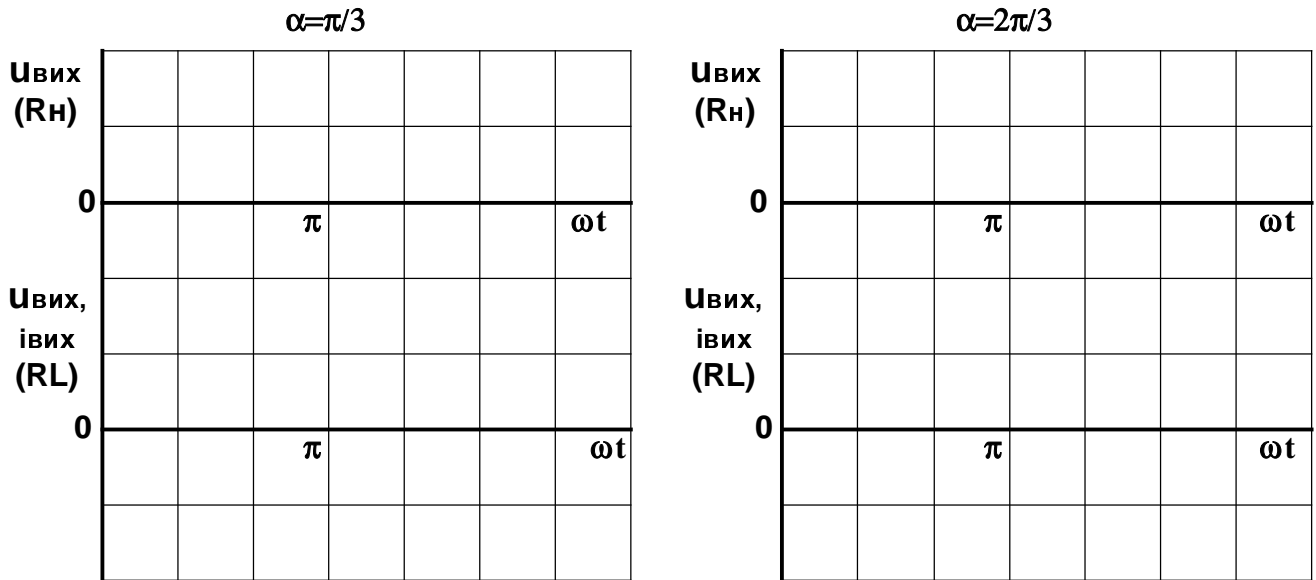


Рис.3 Осцилограми вихідної напруги і струму ТРН з активним і активно-індуктивним навантаженням

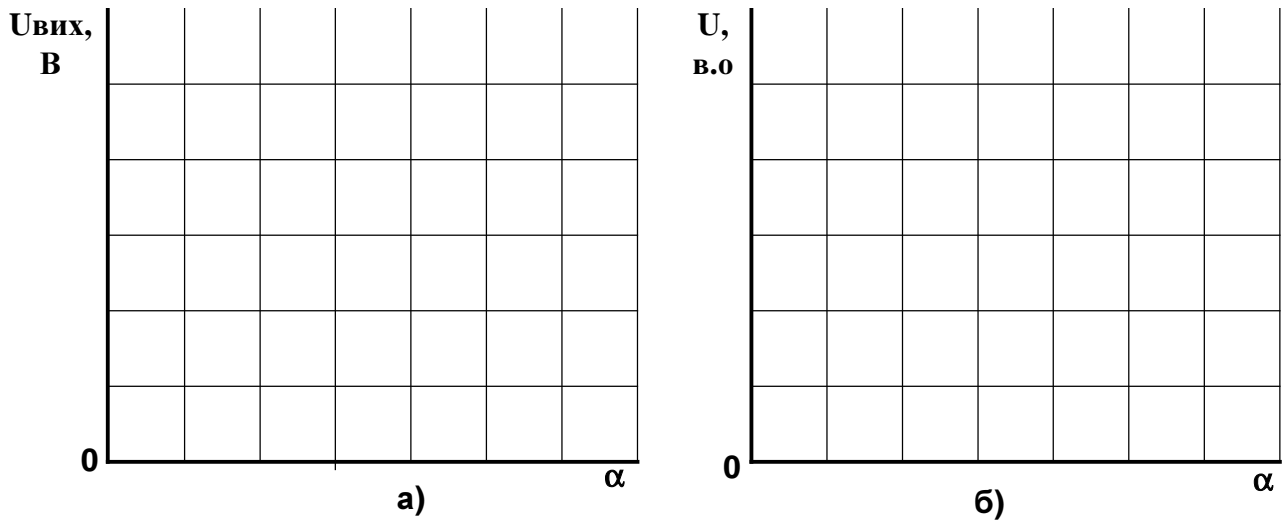


Рис.4 Регульовочні характеристики ТРН

Відповіді на питання:

Лабораторна робота N 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

Мета роботи: вивчення схеми і принципу роботи тиристорного широтно-імпульсного перетворювача постійної напруги (ШПІ) із примусовою паралельною комутацією силового тиристора.

Домашня підготовка

- а) вивчити /2/: с. 164-176, с. 205-210; по /1/ п.п.4.3, /5/ п.п.32.21,32.22.
- б) вивчити дане керівництво;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомлення з об'єктом дослідження.

Лабораторна робота виконується на універсальному лабораторному стенді з перетворювальної техніки. Принципова схема кола, що досліджується наведена на рис. 1 бланка звіту про лабораторну роботу. Пристрій, що досліджується являє собою тиристорний широтно-імпульсний перетворювач (ШПІ) на силовому тиристорі VSc, увімкненому послідовно з навантаженням і вузол паралельної примусової комутації. Останній містить у собі тиристор VSk і конденсатор Cк, що комутують із колом перезаряджання Lк, VДк. Паралельно навантаженню увімкнено зворотний діод VDс для замикання реактивного струму навантаження, коли вимкнено її від мережі.

Обирання навантаження (активне - R або активно-індуктивне R-L) здійснюється перемикачем SA3. Вольтметр PV за допомогою перемикача SA2 переключачється або до входу схеми для вимірювання живильної постійної напруги живлення або до навантаження.

Тиристори керуються системою керування СКТ, що реалізує принцип широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). При цьому регулюється тривалість вмикання VSc - t_i з постійним періодом - T перемикачів. Коефіцієнт заповнення імпульсів $\gamma = t_i / T$ регулюється потенціометром RP1. Вихід широтно-імпульсного модулятора - напруга керування VSc має клема для підключення осцилографа (Uк). Якісно судити про значення напруги на навантаженні дозволяє лампа НL, увімкнена паралельно навантаженню.

2. Підготовка стенда до роботи.

Увімкнути стенд.

Увімкнути електронний осцилограф (EO) у мережу і дати йому прогрітисся протягом 2-3 хв.

3. Дослідження роботи схеми

Увімкнути живлення схеми тумблером SA1. Підключити EO до клем Uк СКТ і встановити на екрані стійке зображення 1-2 періодів напруги широтно-імпульсного модулятора (для зручності встановити період-T, що дорівнює п'ятьом діленням на екрані EO). Повертаючи регулятор, переконатися, що задній фронт імпульсу рухається, а передній - нерухомий. Встановити значення $\gamma=0.2$.

Виконати дослідження роботи схеми за активним навантаженням (SA3 замкнено). Відповідні осцилограми напруги показати на рис.2.

Виконати дослідження роботи схеми за активно-індуктивним (R-L) навантаженням (SA3 розімкнено). Відповідні осцилограми напруги показати на рис.3. Встановити значення $\gamma=0.8$, осцилограми напруги показати на рис.4.

4. Регульовочна характеристика ШП

Увімкнути живлення схеми тумблером SA1, переключити SA2 у верхній (за схемою) стан і виконати вимірювання величину напруги живлення. Занести це значення в таблицю 1.

Розімкнути перемикач SA3. Переключити SA2 у нижній (за схемою) стан для вимірювання вихідної напруги. Виконати дослідження регульовочної характеристики перетворювача із різними значеннями γ . Результати вимірювання занести в таблицю 1.

Оформлення звіту

1. Розрахувати значення вихідної напруги ШП у відносних одиницях (в.о.): $U_{во} = U_{вих}/U_{живлення}$ для кожного із значень $U_{вих}$ у табл. 1.
2. Побудувати на рис. 5 регульовочні характеристики ШП в іменованих і відносних одиницях.

Відповісти письмово на питання:

1. За рахунок чого досягається регулювання вихідної напруги ШП. Яке значення напруги показує вольтметр у схемі?
2. У чому різниця роботи схеми з активним та активно-індуктивним навантаженням. Роль діоду VDс. Покажіть на рис.3 інтервал часу, де він відкритий.
3. Коли відкривається тиристор VSk? Покажіть на рис.3 інтервал часу, де він відкритий.
4. Чим забезпечується зміна полярності напруги на конденсаторі, що комутує? Опишіть коло його заряджання і перезаряджання.
5. Чому на окремих інтервалах часу вихідна напруга ШП перевищує напругу джерела?
6. Для живлення двигуна від мережі постійного струму напругою 220 використано ШП. Номінальна частота обертання двигуна 1500 об/хв. Знайти частоту обертання з коефіцієнтом заповнення, що дорівнює: $\gamma = 0.1 + N/30$, де N - номер за журналом (використати характеристику рис. 5 для в.о.). Навести розрахунок.

**Звіт про лабораторну роботу № 6
Дослідження імпульсного перетворювача постійної напруги**

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

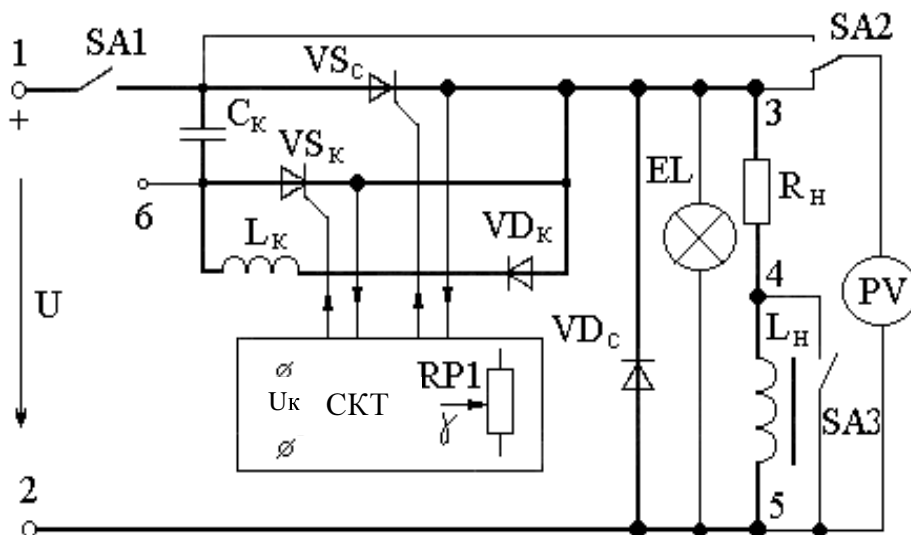


Рис.1. Принципова схема кола, що досліджується

3. Дослідження роботи схеми

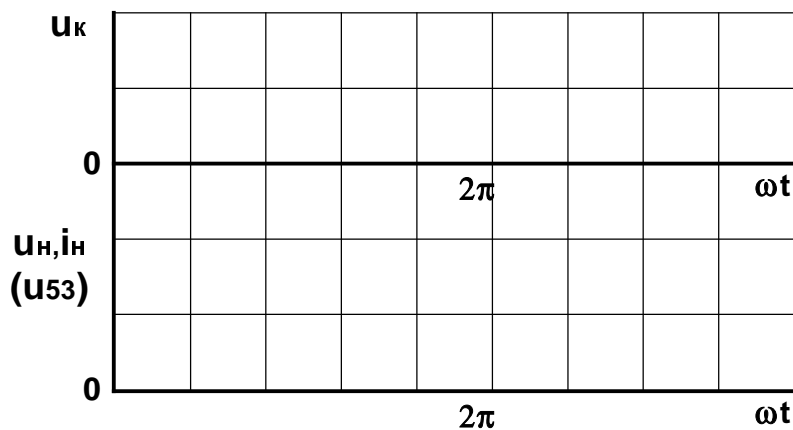


Рис.2 Осцилограми напруги в схемі перетворювача з $\gamma=0.2$ (R - навантаження)

4. Регульовочна характеристика ШПП

Дослідження регульовочної характеристики ШПП

Таблиця 1

γ	0,2	0,4	0,6	0,8
U _{вих} , В				
U _{вих} , в.о.				
U _{жив} = , В				

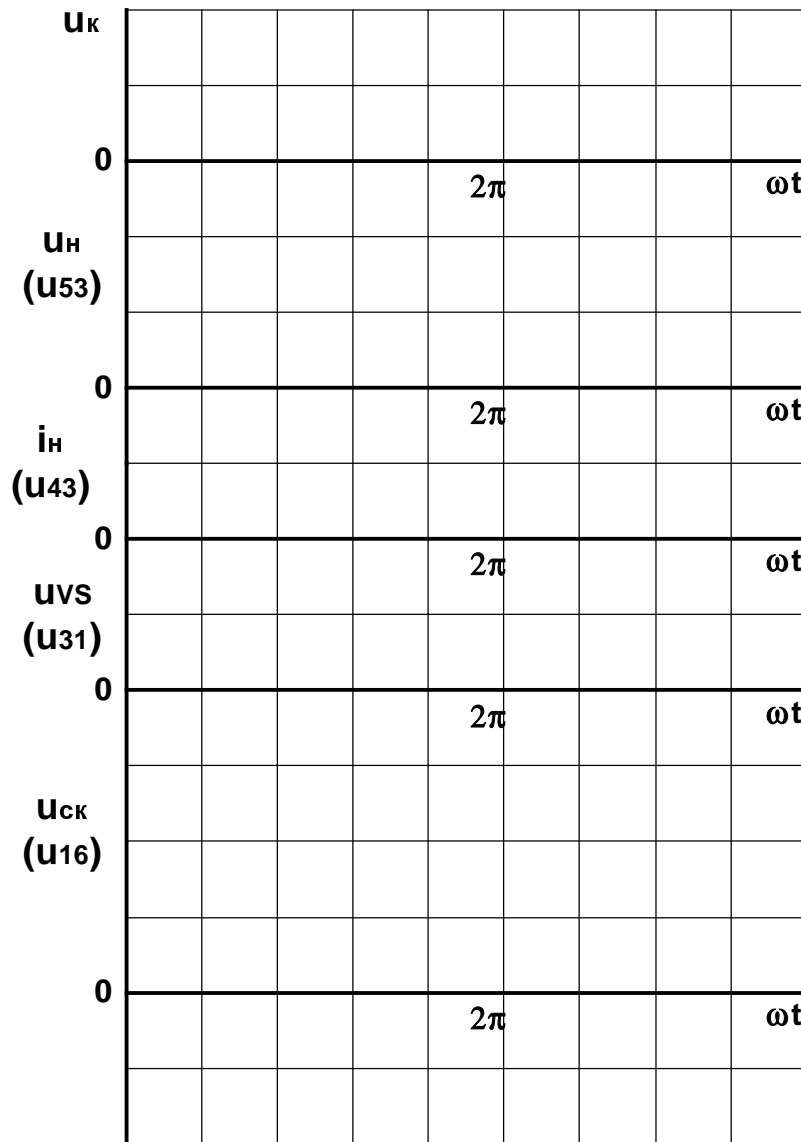


Рис.3 Осцилограми напруги в схемі перетворювача з $\gamma=0.2$ (RL- навантаження)

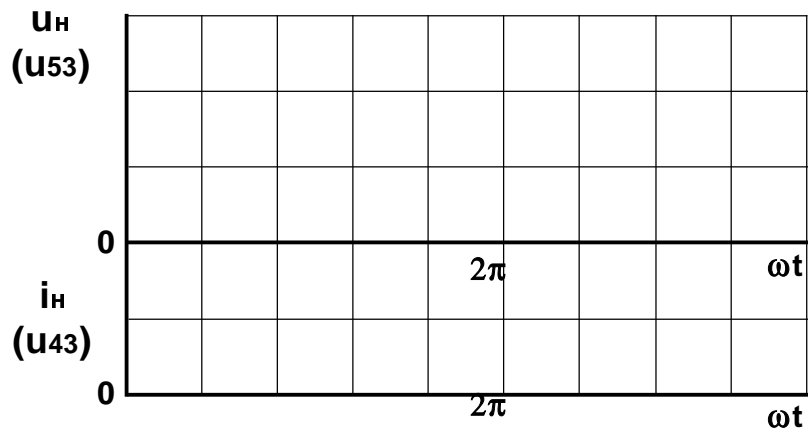


Рис.4 Осцилограми вихідної напруги і струму з $\gamma = 0.8$ (RL- навантаження)

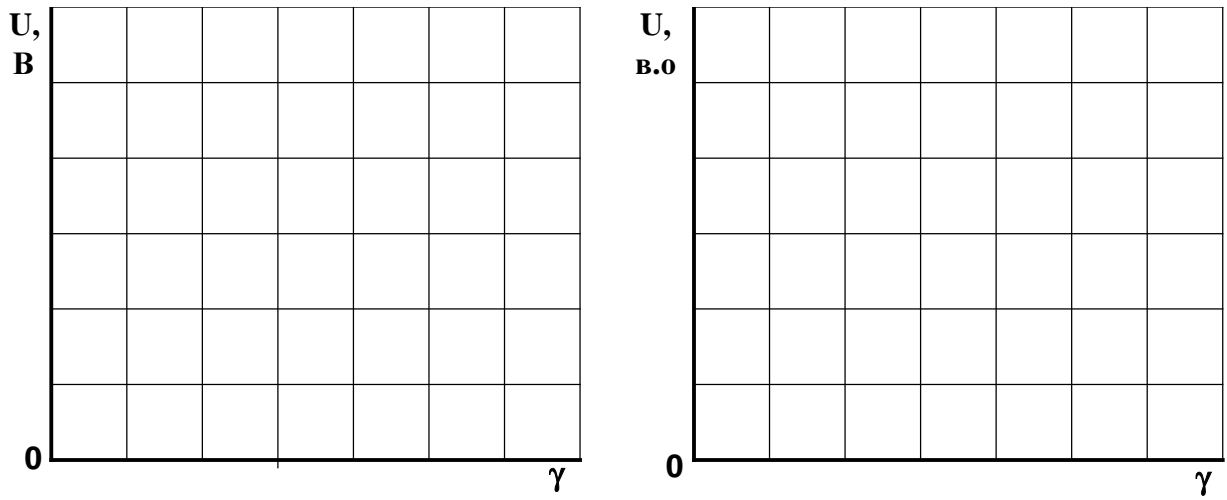


Рис.5 Регульовочні характеристики ШП

Відповіді на питання:

Лабораторна робота N 7

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА СТРУМУ

Мета роботи: вивчення схеми і принципу роботи однофазного тиристорного автономного інвертора струму.

Домашня підготовка

- а) вивчити /2/, с. 248-264, по /1/ п.п.4.4, по /5/ п.п.32.25;
- б) вивчити дане керівництво;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомлення з об'єктом дослідження.

Лабораторна робота виконується на універсальному лабораторному стенді з перетворювальної техніки. Принципова схема кола, що досліджується, наведена на рис. 1 бланка звіту про лабораторну роботу. Пристрій, що досліджується - однофазний автономний інвертор струму за мостовою схемою на тиристорах VS1-VS4. Дросель Lк у колі постійного струму забезпечує роботу джерела у режимі джерела струму. Паралельно навантаженню ввімкнено конденсатор Ск, що комутує. У колах тиристорів встановлені світлодіоди, що індикують відкритий стан відповідного тиристора. Тиристори керуються системою керування СКТ, що має перемикач діапазону вихідної частоти SA2 і регулятор завдання частоти - потенціометр RP1.

У схемі також передбачені:

Ild – вимірювальний шунт для контролю миттєвого значення вхідного струму id;

Ii - вимірювальний шунт для контролю миттєвого значення вхідного струму інвертора i_i

2. Підготовка стенда до роботи.

Увімкнути стенд.

Увімкнути електронний осцилограф (EO) у мережу і дати йому прогрітисся протягом 2-3 хв.

3. Дослідження роботи схеми

Увімкнути живлення схеми тумблером SA1. Увімкнути тумблер SA2, установивши знижену частоту роботи інвертора. Переконайтеся в правильності комутації тиристорів (VS1+VS4 і VS2+VS3) за допомогою відповідних світлодіодів.

Переключити SA2 у стан, відповідний нормальному діапазону вихідних частот. Підключити осцилограф до клем 3 і 6, спостерігаючи форму напруги на навантаженні. Повернути потенціометр RP1 у проміжний стан і встановити на екрані EO стійке зображення 1-1.5 періодів вихідної напруги інвертора (використовувати внутрішню синхронізацію EO). Не змінюючи стан регулятора RP1 зарисувати і проаналізувати осцилограми напруг у

різних точках схеми на рис.2 (бажано використовувати двопробеневий осцилограф).

Встановити потенціометр RP1 по черзі в крайній лівий і правий стан. Осцилограми вхідної і вихідної напруги при мінімальній і максимальній частотах показати на рис.3 (не змінюючи масштаб по Y). Зафіксувати тривалість розвертання (с/ділення) і визначити період вихідної напруги.

За завершенням роботи відключити стенд і ЕО від мережі.

Оформлення звіту

1. Визначити і показати на рис.2 кут зсуву фаз φ між напругою і струмом навантаження. Який його характер, про що це свідчить?
2. Визначити за рис.3 значення f_{\min} і f_{\max} . Розрахувати діапазон зміни частоти вихідної напруги інвертора: $D=f_{\max}/f_{\min}$.

Відповіді письмово на питання:

1. Які функції C_k у схемі інвертора?
2. Показати на рис.2 інтервали часу, де відбувається закриття тиристора VS1. Які умови необхідні для стійкої комутації тиристорів схеми?
3. Про що свідчать сплески напруги на дроселі?
4. Як пояснити зміну форми напруги на навантаженні при збільшенні частоти?
5. Які недоліки інвертора струму впливають з результатів досліджень?

Звіт про лабораторну роботу №7
Дослідження автономного інвертора струму

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

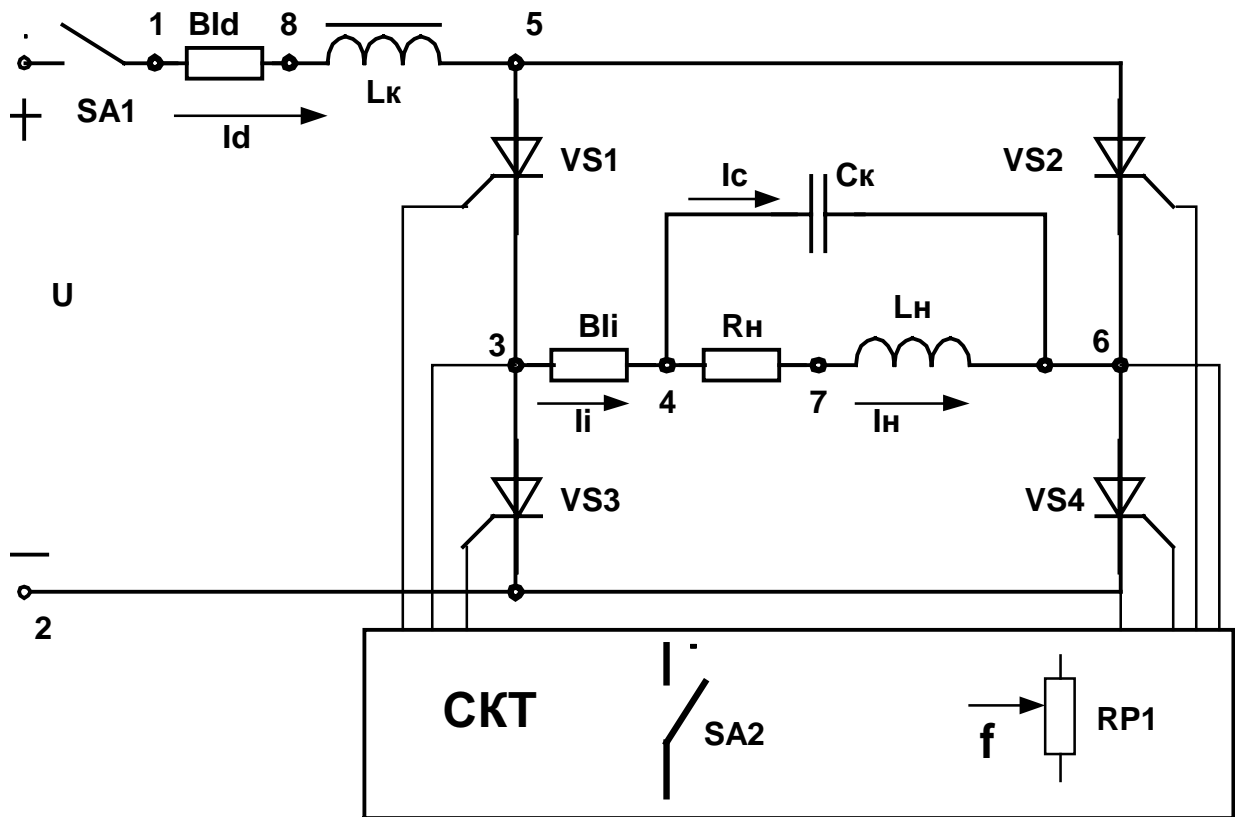


Рис. 1. Схема експериментального стенду.

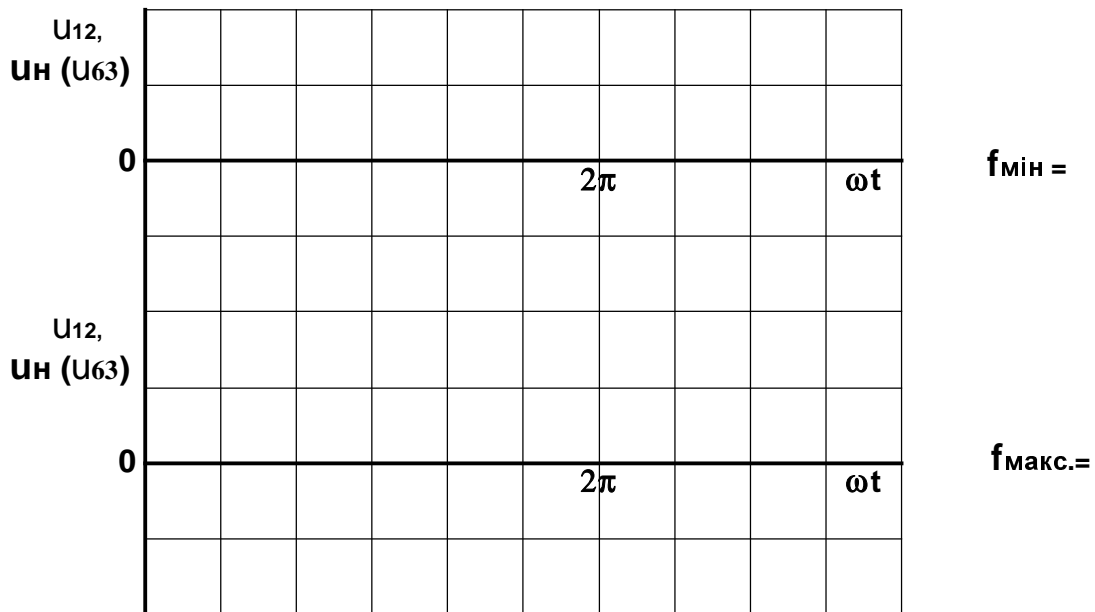


Рис.3 Осциллограми напруг на вході та виході АІС

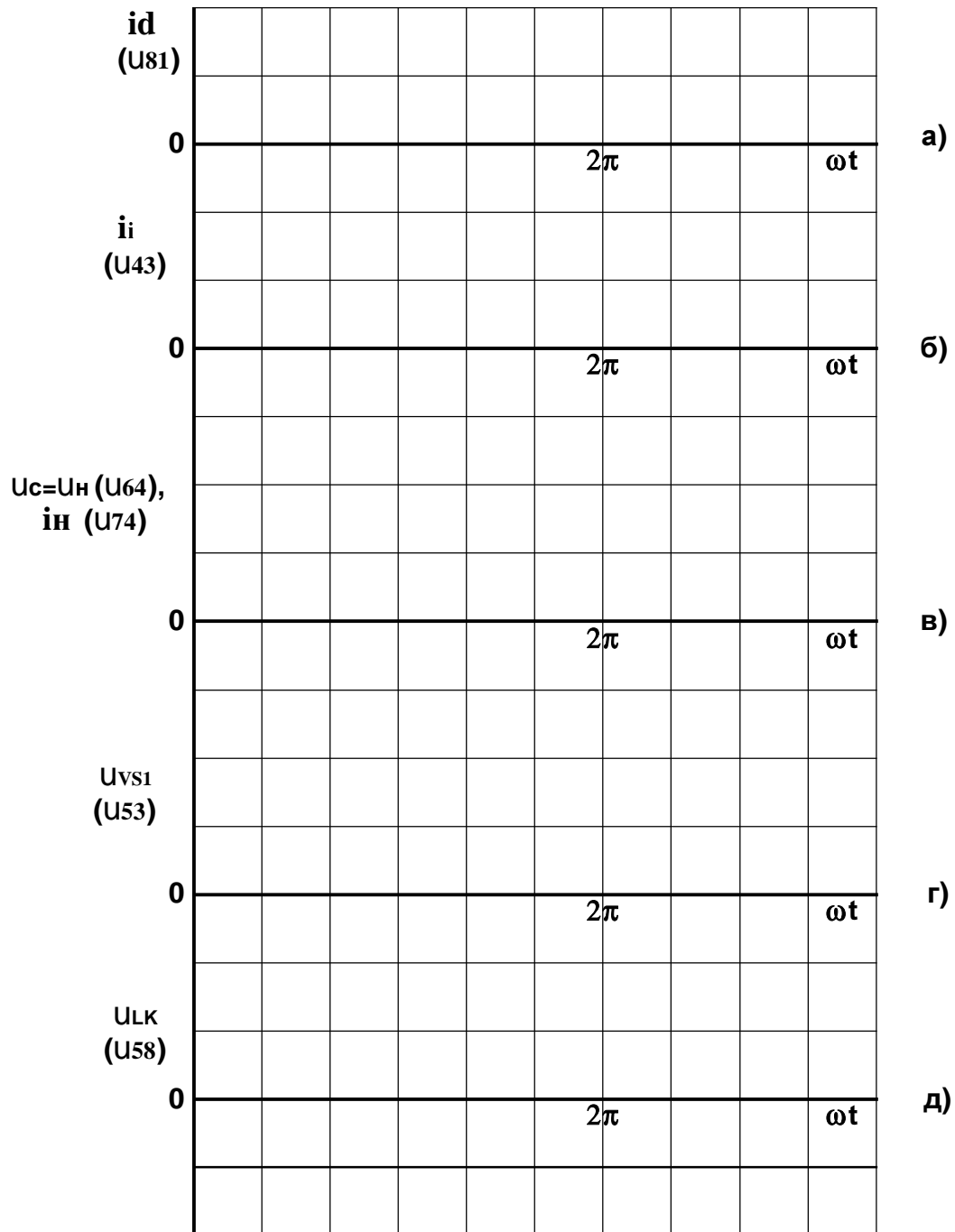


Рис.2 Осциллограмми роботи АІС

Відповіді на питання:

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТИРИСТОРНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

Мета роботи: вивчити роботу синхронної системи імпульсно-фазового керування (СІФК) тиристорами ТП виконаної за принципом "вертикального" керування

Домашня підготовка

- а) вивчити п.п.4.6 /1/,/2/, /5/ ;
- б) вивчити дане керівництво;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомлення з об'єктом, що досліджується.

Оглянути лабораторний стенд: знайти усі елементи системи керування ТП (рис.1) на лицьовій панелі стенда.

Схема містить у собі одноканальну синхронну СІФК з блоком живлення. Зв'язок з мережею живлення здійснюється через трансформатор TV1. Для виключення впливу комутаційних і інших викривлень напруги мережі живлення на роботу системи на вході її встановлено фільтр (Φ). Формувач синхронізуючих імпульсів ФСІ формує синхроімпульси $u_{c.c}$, u_p , u_N , що фіксують зміну полярності напруги мережі u_Φ . Генератор пилкоподібної напруги ГПН відповідно до синхроімпульсів $u_{c.c}$ формує напругу пилкоподібної форми ($u_{пил}$). Формування імпульсів керування тиристорами, фаза яких α відносно моментів (точок) природної комутації (напруга $u_{c.c}$) визначається напругою керування U_k , забезпечує пристрій порівняння (ПП). Схема також містить розподільник імпульсів керування (PI), що розподіляє імпульси на тиристори анодної і катодної груп (виконує функції роздільного керування), генератор імпульсів заповнення (ГІЗ) із входом "заборони". Підсилення імпульсів за потужністю, гальванічна розв'язка кола керування і силового кола високої напруги забезпечується вихідними каскадами. Виконані вони з використанням транзистора VT у ключовому режимі та імпульсного трансформатора TV2.

2. Дослідження роботи СІФК.

Подати живлення на стенд. Встановити регулятори U_k і $U_{см}$ у крайній лівий стан ($U_k=0$). Виконати дослідження вихідних сигналів вузлів системи за допомогою електронного осцилографа (ЕО). Встановити стійке зображення сигналу на екрані ЕО (синхронізація від мережі), останнє бажано прив'язати до ділень на екрані 30 (напівперіоду напруги мережі повинне відповідати ціле число ділень). Показати осцилограми сигналів u_Φ , $u_{c.c}$, u_p , u , $u_{пил}$ на рис.2.

За вказівкою викладача виконати настроювання СІФК:

Варіант 1: У якості входу, що задає, використовується вхід $U_{см}$ (при $U_k=const=0$).

Варіант 2: у якості входу, що задає, використовується вхід U_k (при $U_{cm} = \text{const}$).

Установити $U_k = 0$. Підключити вхід ЕО до виходу ГП.

За допомогою регулятора U_{cm} домогтися на екрані ЕО мінімальної тривалості імпульсів напруги u_i . Надалі стан регулятора U_{cm} не змінювати.

РІ в даній схемі розподіляє імпульси з виходу ГП u_i на два тиристори - один працює в позитивний напівперіод напруги мережі u_{iP} , другий у негативний u_{iN} . Змінюючи напругу U_k (U_{cm}), що задає, встановити тривалість імпульсів на виході ГП, що дорівнює чверті періоду напруги мережі. Зарисувати осцилограми сигналів u_i , u_{iP} , а також напруги U_k (масштабі - незмінний).

Для керування тиристорами використані, так звані, "широкі" імпульси. Для зменшення потужності втрат на керуючому електроді тиристора використано "частотне заповнення" імпульсів, коли на тиристор подається пакет імпульсів високої частоти. Проаналізуйте форму напруги u_{iP} підбравши відповідну тривалість розвертання ЕО.

Робота СІФК може бути заблокована, наприклад, при спрацьовуванні захисту. Для цього в схемі передбачено вимикач SA. При його вмиканні вихідний сигнал ГІЗ дорівнює 0 і імпульси з тиристорів знімаються. Переконайтеся в цьому спостерігаючи напругу u_{iP} за допомогою ЕО

3. Дослідження регульовочної характеристики СІФК.

Відповідно до наявного налаштування виконати дослідження регульовочної характеристики (табл. 1):

Варіант 1: $\alpha = f(U_{cm})$

Варіант 2: $\alpha = f(U_k)$.

Значення α оцінювати візуально за допомогою осцилографа. Для цього зображення треба синхронізувати і прив'язати до ділень на екрані (див. рис. 4). Відлік кута α здійснюється відносно моментів природної комутації $\omega t = 0, \pi, 2\pi, \dots$

Оформлення звіту

Показати на рис. 3 залежність $\alpha(U_k)$ або $\alpha(U_{cm})$ згідно даним табл.1

Відповіді письмово на питання:

1. Що таке "вертикальне керування"? Для пояснення використати отримані осцилограми.
2. Привести приклад схеми ГПН із використанням операційного підсилювача.
3. Як виконується ГП?
4. Призначення діодів VD1, VD2 у схемі вихідного каскаду.

Звіт про лабораторну роботу №8 Дослідження системи керування тиристорним перетворювачем

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

1. Вивчення експериментального стенду

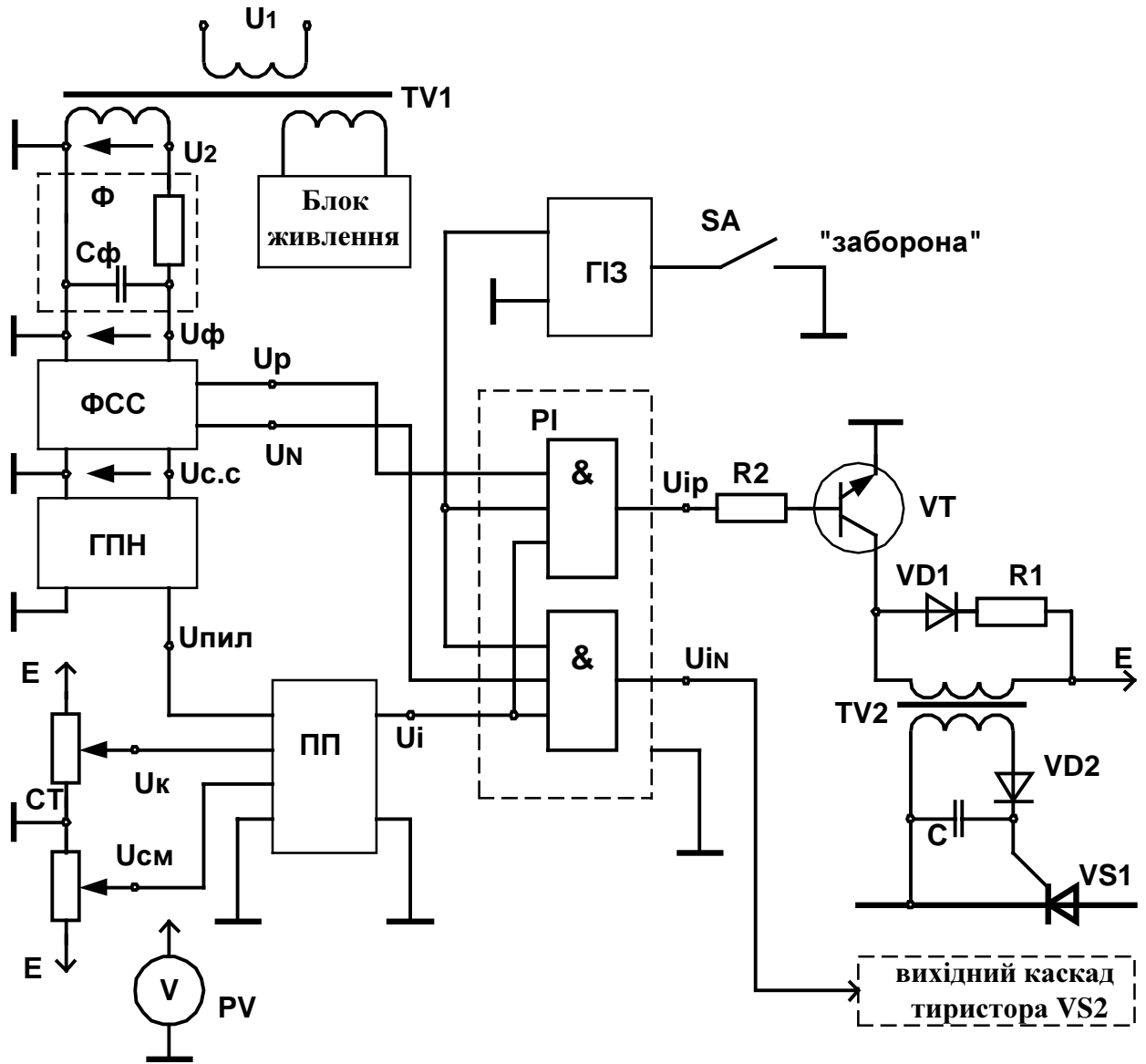


Рис.1 Схема СІФК, що досліджується

2. Дослідження роботи СІФК

3. Дослідження регульовочної характеристики СІФК

α							
U_k							

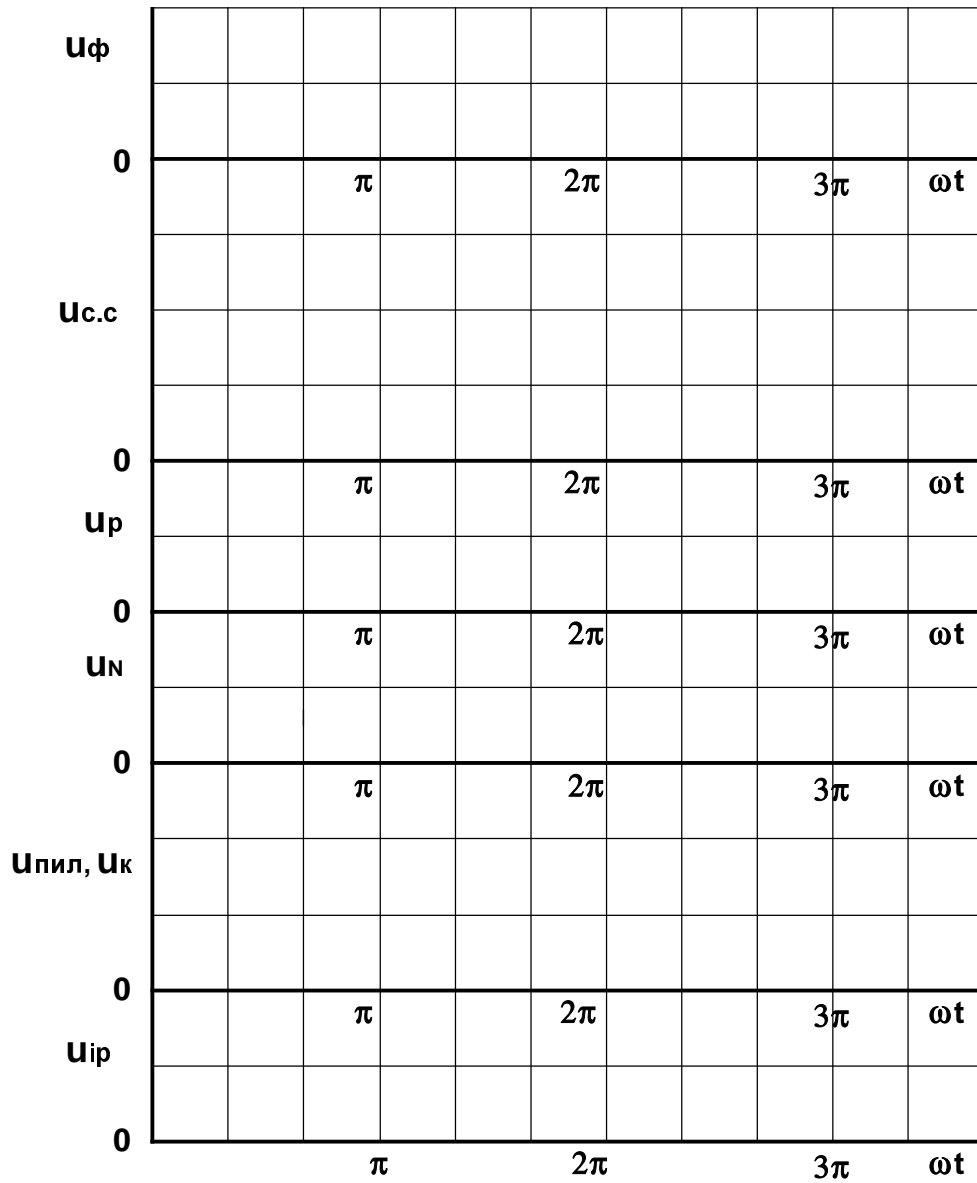


Рис.2 Осцилограми напруг у схемі СІФК

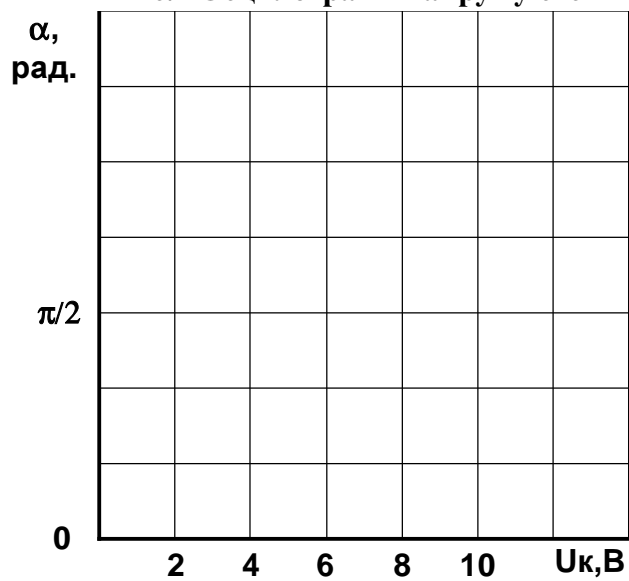


Рис.3 Регульовочна характеристика

Відповіді на питання:

Лабораторна робота N9
**ДОСЛІДЖЕННЯ РЕВЕРСИВНОГО ТИРИСТОРНОГО
 ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

Мета роботи: дослідження роботи трифазного реверсивного тиристорного перетворювача (ТП) постійного струму з двома комплектами тиристорів при роздільному й погодженому керуванні.

Домашня підготовка

- а) вивчити п.п 4.2-4.3/1/, /5/;
- б) вивчити дане керівництво;
- в) підготувати бланк звіту про роботу.

1. Ознайомлення з об'єктом, що досліджується.

Як об'єкт досліджень використовується трифазний реверсивний тиристорний перетворювач постійного струму. Принципова схема стенду наведена на рис. 1 бланка звіту про лабораторну роботу.

Стенд містить у собі: силовий трансформатор TV з автоматичними вимикачами QF1 і QF2 на вході і виході; ТП з двома комплектами ТП1 і ТП2 (увімкнені паралельно), що виконані за нульовою трифазною схемою випрямлення із системою імпульсно-фазового керування (СІФК1 і СІФК2); два дроселя, що згладжують, Др1 і Др2 і навантаження ($R_H - L_H$). Напряга керування U_k на вході СІФК регулюється за допомогою регулятора Rp. Зміна полярності U_k забезпечується перемикачем SA2. У схемі також передбачено перемикач SA1 для зміни характеру навантаження – активне (R_H) або активно-індуктивне ($R_H - L_H$).

У схемі передбачено комплект вимірювальних приладів:

pV1, pV2 – вимірювання напруги U_d і струму I_d на виході ТП (середні значення);

pV1- вимірювання урівнювачого струму $I_{ур}$ (середнє значення);

pV2 – вимірювання напруги керування U_k на вході СІФК;

$V_{ур}$ - вимірювальний шунт для контролю миттєвого значення урівнювачого струму $i_{ур}$;

(**ПРИМІТКА:** вольтметр pV1 знаходиться на пульті керування в правій частині стенда)

Для візуального спостереження сигналів у схемі використовується двоканальний осцилограф EO, що підключається до затискачів відповідно схемі.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Вивчення експериментального стенду.

Оглянути лабораторний стенд: знайти на лицьовій панелі стенда усі елементи схеми (рис.1).

Підготовка стенду до роботи:

Встановити перемикач SA (у центрі стенда) у положення 1.

Ввімкнути електронний осцилограф(EO) у мережу і дати йому прогрітисся протягом 2-3 хв.

1. Дослідження роботи ТП з роздільним керуванням комплектами тиристорів

Роздільне керування перетворювачем передбачає почергову роботу комплектів ТП1 і ТП2, тобто при роботі одного з них, наприклад ТП1 (позитивна напруга на навантаженні), другий комплект – ТП2 відключено (заблоковано). Для цього в схемі передбачені відповідні перемикачі SA3 і SA4, що знімають живлення із СІФК1 і СІФК2 .

1.1. Дослідження регульовочної характеристики СІФК

Переконавшись, що вимикач QF2 (знаходиться під кришкою стенда - ліворуч) ввімкнено. Встановити перемикач SA3 у положення замкнуто (SA4 - розімкнути).

Подати живлення на схему, для чого ввімкнути QF1 і натиснути на кнопку “вперед” на пульті керування.

При дослідженні характеристик необхідно враховувати, що в трифазній схемі випрямлення точка природної комутації (точки a, в, с, a*,... на рис.1) відносно якої ведеться відлік кута відкриття - α , зсунута стосовно відповідної фазної напруги на кут $\pi/6$. Тому синхронізація СІФК здійснюється за лінійними напругами. Для зручності виміру кута α для тиристорів фази А до схеми додана обмотка трансформатору з напругою u_{AC} .

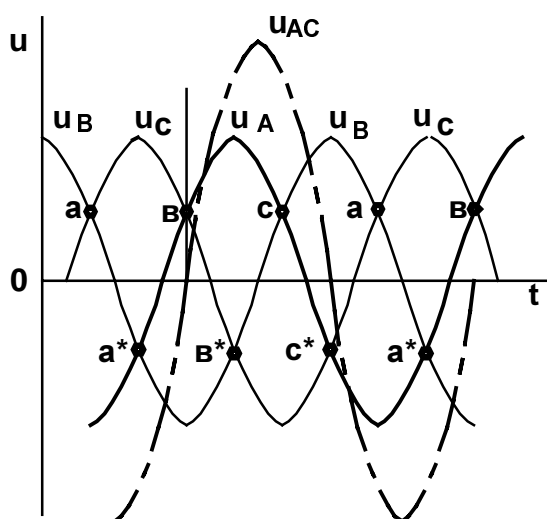


Рис.1. Тимчасова діаграма напруги мережі живлення

Підключити ЕО до затискачів обмотки $u_{89} = u_{AC}$. Зображення для одного періоду прив'язати до ділень екрана ЕО. Підключити ЕО до тиристора VS1 (затискачі 1 і 2) і спостерігати відповідні імпульси керування. Змінюючи U_k на вході СІФК (потенціометр «рег. U_k ») встановити кут α близько 30° .

Вимкнути стенд вимикачем QF1. Встановити перемикач SA3 у положення розімкнуто (SA4 - замкнути).

Підключити ЕО до тиристора VS4 (затискачі 10 і 11), подати живлення і спостерігати відповідні імпульси

керування. Осцилограми імпульсів керування показати на рис.2 бланка звіту.

Задаючись різними значеннями U_k ($0 - \pm 12V$) на вході СІФК (для зміни полярності використовувати перемикач SA2) зняти залежність $\alpha(U_k)$. Дані занести у табл.1.

1.2. Регульовочна характеристика ТП з активним навантаженням

Вимкнути стенд. Замкнути перемикачі SA3 і SA1 (SA4 - розімкнути). При цьому має місце робота ТП1 з активним навантаженням. Виконати дослідження роботи схеми у всьому діапазоні зміни кута відмикання тиристорів - α . Для контролю вихідної напруги ЕО підключити до затискачів 3 і 4 (u_{34}). Відповідні $\alpha=60^\circ$ осцилограми напруг показати на рис.2,а. Результати занести у табл. 2.

Вимкнути стенд. Замкнути перемикач SA4 і SA1 (SA3 - розімкнуті). При цьому має місце робота ТП2 з активним навантаженням. Переконайтеся в тому, що вихідна напруга і струм перетворювача змінили напрямом.

1.3. Регульовочна характеристика ТП з активно-індуктивним навантаженням

Вимкнути стенд. Розімкнуті перемикач SA1. При цьому має місце робота ТП1 з активно-індуктивним навантаженням. Виконати дослідження роботи схеми у можливому діапазоні зміни кута відкриття тиристорів - α . Для контролю вихідної напруги і струму ЕО підключити відповідно до затискачів 2,4 ($u_d = u_{24}$) та 3, 4 ($i_d = u_{34}$). Відповідні $\alpha=60^\circ$ осцилограми напруги і струму показати на рис.2,б. Результати занести у табл. 2.

2. Дослідження роботи ТП при погодженому керуванні комплектами тиристорів

При погодженому керуванні ТП1 і ТП2 працюють одночасно на спільне навантаження, але при різних кутах відкриття тиристорів (з умови рівності середніх значень вихідної напруги).

Варто звернути увагу на те, що джерело вхідної напруги U_k спільне для ТП1 і ТП2, але ввімкнено прямою полярністю для СІФК1 і зворотною для СІФК2.

За даними табл.1 навести на рис.5 регульовочну характеристику СІФК - $\alpha(U_k)$. Задаючи значення $U_k = 5-7V$ визначити відповідні кути α_1 (ТП1) і α_2 (ТП2) (з урахуванням полярності для них U_k). Переконайтеся в тому, що виконується умова $\alpha_1 + \alpha_2 \approx \pi$.

Регульовочна характеристика $U_d(\alpha)$ реверсивного ТП з активно-індуктивним навантаженням

При погодженому керуванні через розходження миттєвих значень вихідних напруг ТП1(u_{d1}) і ТП2(u_{d2}) між комплектами має місце напруга $u_{ур} = u_{d1} - u_{d2} \neq 0$ (уравнювача) і в колі минаючи навантаження протікає уравнювачий струм $i_{ур}$.

Вимкнути стенд. Розімкнуті перемикач SA1 (SA3 і SA4 - замкнуті).

Досліджувати роботу схеми в можливому діапазоні зміни напруги U_k . Результати занести в табл. 3.

Осцилограми вихідних напруг $u_{d1} = u_{24}$, $u_{d2} = u_{54}$, $u_{ур} = u_{25}$ і струму $i_{ур} = u_{56}$ з фіксованим значенням кута $\alpha_1=30^\circ$ ($\alpha_2=150^\circ$) показати на рис.б.

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

1. За даними табл.2 навести на рис.4 регульовочну характеристику ТП з активним та активно-індуктивним навантаженням.
2. Використовуючи рис.5 з урахуванням полярності U_k визначити значення α_1 і α_2 у табл.3.
3. За даними табл.3 побудувати на рис.7 регульовочну характеристику ТП при погодженому керуванні.

ВІДПОВІСТІ ПИСЬМОВО НА ПИТАННЯ:

1. Для чого в схемі використано два дроселі Др 1 і Др2?
2. У чому основний недолік погодженого керування?

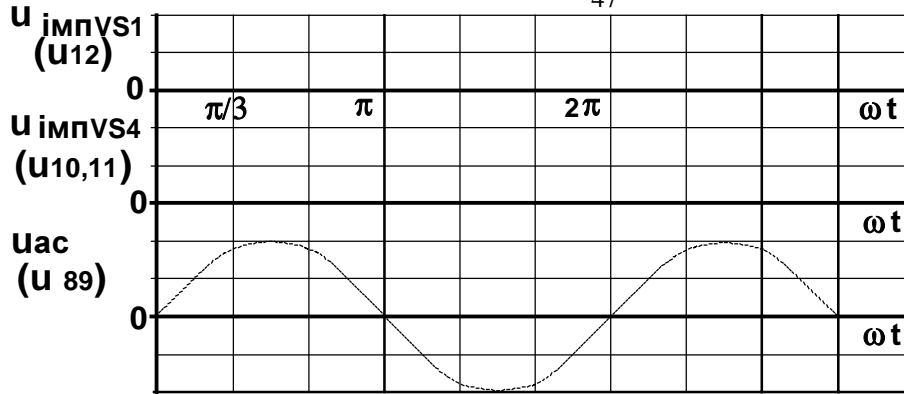


Рис.2 Осцилограми роботи СІФК

1.2. Регульовочна характеристика ТП з активним навантаженням

Регульовочна характеристика ТП

Таблиця 2

$U_k, \text{ В}$						
$\alpha, \text{ град}$						
(R) $U_d, \text{ В}$						
(R-L) $U_d, \text{ В}$						

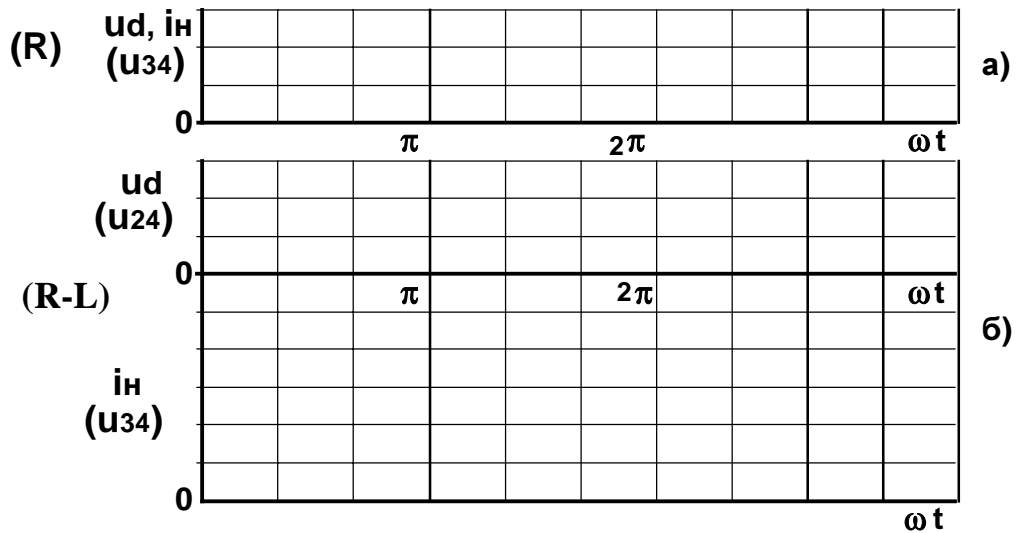


Рис.3 Осцилограми роботи ТП з (R) та (R-L) навантаженням

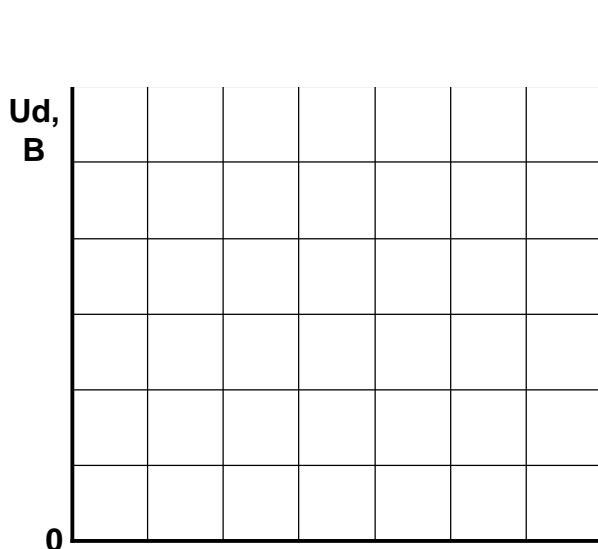


Рис.4 Регульовочна характеристика ТП за роздільним керуванням

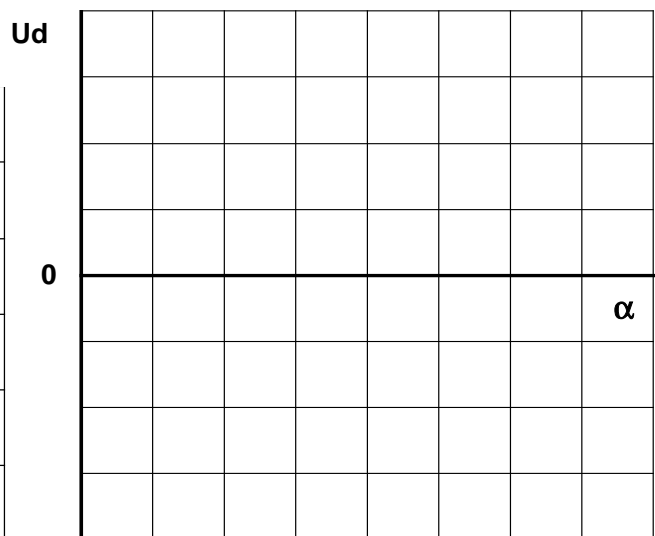


Рис.7 Регульовочна характеристика ТП за погодженим керуванням

Лабораторна робота № 10 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ТП-Д

Мета роботи: - вивчення принципів побудови і основних елементів сучасного промислового електроприводу постійного струму за системою тиристорний перетворювач - двигун (ТП-Д); дослідження можливостей і основних показників якості регулювання швидкості приводу.

Домашня підготовка:

- вивчити п.п.4.21-4.3/1/ і /2,5/
- вивчити дане керівництво;
- підготувати бланк звіту,
- нарисувати в звіті силову схему реверсивного двокомплектного перетворювача на базі трифазного тиристорного мостового випрямляча (рис.1 бланка звіту).

Опис лабораторного стенду

Як об'єкт дослідження використано комплектний тиристорний електропривід (ЕП) постійного струму типу ПТЗР-6/220-42-1500. Найменування розшифровується таким чином - привод тиристорний, трифазний, реверсивний; 6 - потужність трансформатора в кВА; 220 - напруга на якорі двигуна в В; 42 - габарит електродвигуна; 1500 - максимальна швидкість обертання в об/хв.

Основні технічні дані і характеристики:

- лінійна напруга мережі живлення змінного струму $U_{ном} = 380 \text{ В}$;
- частота мережі, $f_c = 50 \text{ Гц}$;
- потужність двигуна $P_{ном} = 2.1 \text{ кВт}$, швидкість $n_{ном} = 1500 \text{ об/хв}$;
- діапазон регулювання, $D = 1000 : 1$;
- режим роботи тривалий.

До складу електроприводу входять:

- трансформатор трифазний силовий типу ТТ-6 ($S_{ном} = 6 \text{ кВА}$) призначений до роботи із напівпровідниковими випрямлячами, має підвищене значення напруги к.з. $u_k = (10+4/-3)\% U_{ном}$, що забезпечує обмеження струмів к.з. на рівні $(7-14)I_{ном}$, струм холостого ходу $i_x = 15\% I_{ном}$ (Y/Y 380/400В, 9.1 А);

- реверсивний тиристорний перетворювач (ТП) із двома комплектами вентилів за трифазною нульовою схемою випрямлення з блоком керування, що включає систему автоматичного регулювання (САР);

- САР двоконтурна: зовнішній контур - регулювання швидкості, внутрішній (підлеглий) – контур регулювання струму якоря двигуна;

- двигун постійного струму незалежного збудження серії ПБСТ-42 ($U_{яном} = 220 \text{ В}$, $I_{яном} = 11 \text{ А}$, $R_{я} = 0,3 \text{ Ом}$) з вбудованим тахогенератором (BV);

- два дроселі $Dp1$ і $Dp2$;

- пульт керування.

Живлення ЕП від трифазної мережі змінного струму здійснюється через автоматичний вимикач QF1 і трансформатор TV.

Конструктивно ТП виконано в окремому корпусі, де розміщені два силових блоки тиристорів ТП1 і ТП2, блок системи керування (БСК), вимикачі QF2 і QF3, крізь які подається напруга від TV до силових кіл і кіл керування, а також БСК, джерело живлення (ДЖ), допоміжні кола захисту і керування та обмотка збудження двигуна (ОЗД). Виходи ТП через дроселі Др1 і Др2, вимірювальний шунт ВІя приєднуються до затискачів якоря двигуна.

Основне електрообладнання електроприводу розміщено в нижній частині стенду. Вимикач QF1, пульт керування і функціональна схема ЕП розміщені на лицьовій панелі стенда.

До складу пульта керування входить комплект приладів:

рV1 - контроль швидкості двигуна (n) (має кнопку переключення меж вимірювання 1:10);

рV2 - напруга на затискачах якоря двигуна Uя;

рА - струм якоря двигуна Ія;

вузол завдання швидкості і напрямку руху, що містить регулятор "пзад" і кнопки "Вперед", "Назад", "Стоп".

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Вивчення експериментального стенду

Вивчити функціональну схему електропривода на лицьовій панелі стенда (рис. 2 бланк звіту). Знайти на стенді усі елементи, що згадані в його описі та на функціональній схемі.

УВАГА! Відкривати кришки стенду і приступати до огляду електрообладнання можна тільки після зняття напруги (вимикач QF1 вимкнено).

Записати в бланк звіту паспортні дані двигуна.

2. Дослідження режимів роботи реверсивного ЕП.

2.1. Підготовка до пуску.

Встановити перемикач SA (у центрі стенда) у положення 2. Ввімкнути автоматичні вимикачі QF2, QF3, розташовані у середині стенду. Подати напругу на силовий трансформатор вмиканням автоматичного вимикача QF1. Світіння лампи HL1 ("Мережа") свідчить про наявність напруги на затискачах електроприводу.

2.2. Робота ЕП за прямим напрямком обертання. Встановити регулятор "пзад" у крайнє ліве положення (пзад=0). Натиснути кнопку "Вперед" і повертаням регулятора "пзад" вправо поступово прискорити привод до

n_{\max} , контролюючи при цьому показання приладів. Результати спостереження занести до табл. 2.1.

За допомогою регулятора "назад" виконати уповільнення ЕП від n_{\max} до 0. Результати також занести в табл. 2.1. Вимкнути ЕП, натиснувши кнопку "Стоп".

2.3. Робота ЕП за зворотнім напрямком обертання. Виконати аналогічно п.2.2 при натиснутій кнопці "Назад".

3. Дослідження показників регулювання швидкості.

Здійснити запуск ЕП у напрямку "Вперед". Виміряти значення n_{\max} і n_{\min} у крайніх положеннях регулятора "назад". Визначити діапазон регулювання: $D = n_{\max} / n_{\min}$. Змінюючи задане значення частоти обертання (регулятор "назад") оцінити можливість одержання будь-якого проміжного значення швидкості в діапазоні $n_{\max} - n_{\min}$. Зробити висновок про плавність регулювання, що досягається в даній системі ЕП.

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

1. На підставі аналізу отриманих у п.п. 2.2-2.3 даних і схеми (рис.2 звіту) заповнити табл. 2.1, визначити режими роботи двигуна ДПС і ТП, вказати при цьому номер силового блоку ТП, що забезпечує роботу на кожному інтервалі.
2. Розрахувати і показати на рис.3 зовнішню характеристику ТП $U_d(I_d)$.
3. Визначити кут відкриття α для забезпечення номінального режиму роботи двигуна.

Вказівки до розрахунку зовнішньої характеристики:

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - U_{vs} - I_d (X_T \cdot m / 2\pi + R_T + R_L),$$

де: кут α прийняти $\alpha = 5N$, де N - порядковий номер за журналом;
 $U_{d0} = 1,17 U_{2\phi}$ – середнє значення випрямленої напруги при холостому ході і цілком відкритих тиристорах;
 $U_{vs} = 1,2V$ – пряме спадання напруги на тиристорі;
 $m = 3$ – число пульсацій випрямленої напруги;
 $X_T = \omega \cdot L = \omega \cdot \frac{U_{2\phi}}{I_{2\phi}} \cdot 100$ – приведена до випрямленого кола індуктивність розсіювання фази обмотки трансформатора
 $R_T = (0,1-0,2) \cdot \omega \cdot L \cdot \frac{U_{d0}}{I_{dном}} \cdot m$ – приведений до випрямленого кола активний опір обмоток трансформатора;
 R_L – активний опір дроселя, що згладжує, ($R_L = 0,24 \text{ Ом}$)

Вказівки до розрахунку α :

Номінальний струм якоря ДПС $I_{dном} = (U_d - E_{яном}) / (R_{я} + R_L)$,
де $E_{яном} = U_{ном} - I_{яном} R_{я}$.

Відповіді письмово на питання:

1. Чим відрізняються силові схеми реверсивного і неревверсивного ТП?
2. Який двигун використовується в системі ТП-Д? Як здійснюється живлення кола збудження?
3. Що містить у собі комплектний тиристорний електропривід?
4. Який засіб регулювання швидкості використовується в системі ТП-Д?
5. Для чого призначені блоки СІФК1, СІФК2?
6. Яким чином можна реверсувати ДПС? Як здійснюється реверс у даній роботі, що про це свідчить?

Звіт про лабораторну роботу N 10
Дослідження системи ТП-Д

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

Домашня підготовка

Рис.1 Схема реверсивного ТП на базі трифазного мостового випрямляча

2. Дослідження режимів роботи реверсивного ЕП.

Результати досліджень режимів роботи

Таблиця 2.1

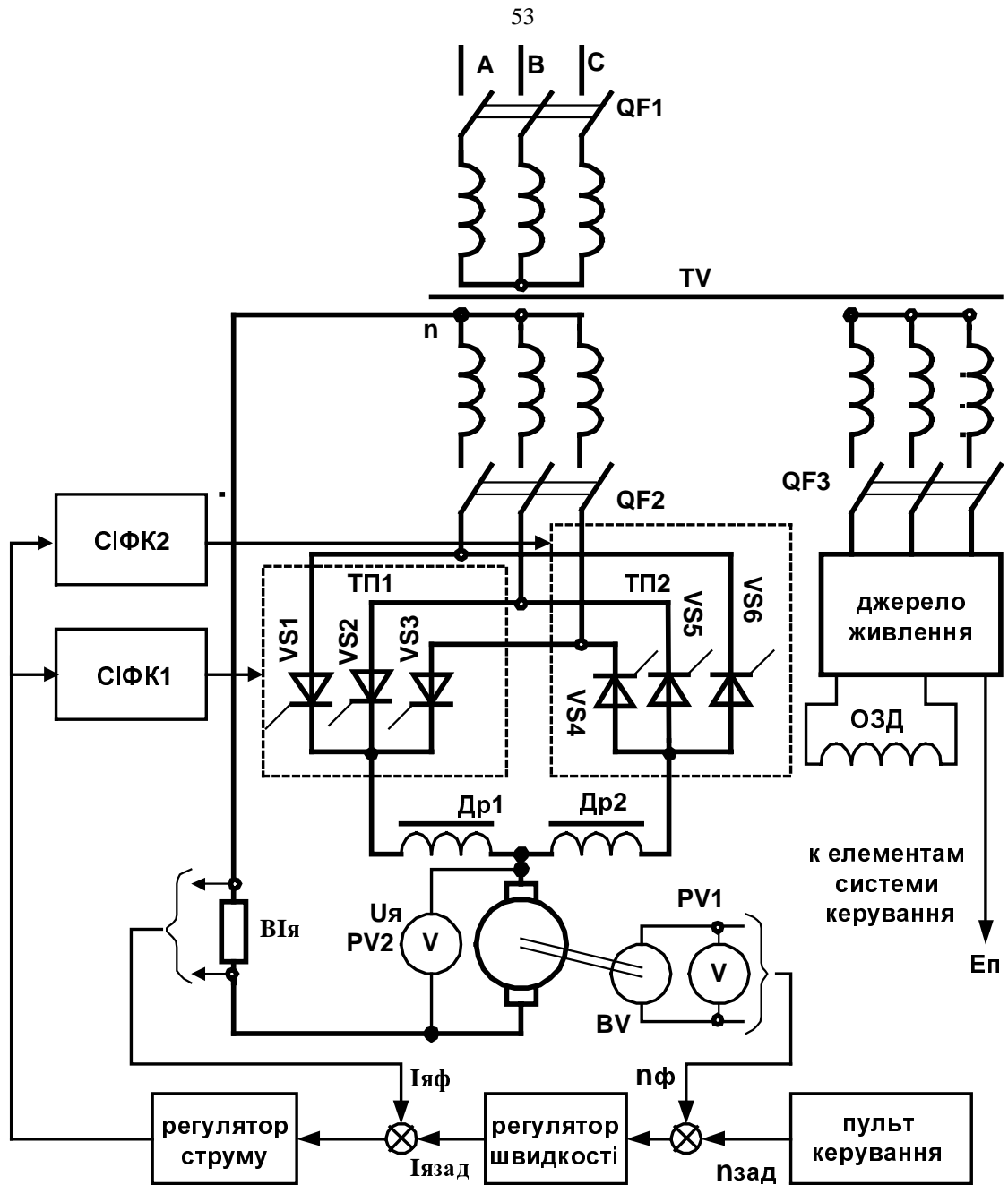
інтервал зміни n		Розгін $0 \rightarrow n_{\max}$	уповільнення $n_{\max} \rightarrow 0$	Розгін $0 \rightarrow (-n_{\max})$	уповільнення $(-n_{\max}) \rightarrow 0$
Полярність (знак)	$U_{\text{я}}$				
	$I_{\text{я}}$				
	$P=U_{\text{я}}*I_{\text{я}}$				
Режим роботи	ДПС				
	ТП				

3. Дослідження показників регулювання швидкості

$$n_{\max} = \quad \text{об/хв}$$

$$n_{\min} = \quad \text{об/хв}$$

$$\text{Діапазон регулювання } D = n_{\max} / n_{\min} =$$



Розрахунок зовнішньої характеристики:

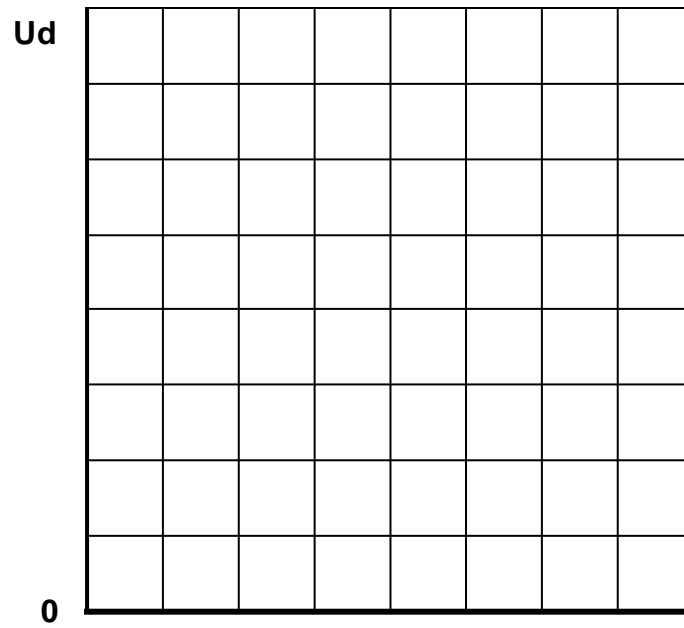


Рис.3 Зовнішня характеристика ТП

Відповіді на питання:

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ - АСИНХРОННИЙ ДВИГУН (ТПЧ-АД)

Мета роботи: - вивчення структури і принципу роботи трифазного тиристорного перетворювача частоти з проміжним колом постійного струму в складі регульованого електропривода змінного струму за системою ТПЧ-АД; дослідження закону керування АД за частотним регулюванням швидкості; дослідження регульовальних властивостей електропривода.

ДОМАШНЯ ПІДГОТОВКА:

- вивчити п.4.5 /1/, /2/, /5/;
- вивчити дане керівництво;
- підготувати бланк звіту про роботу;

Ознайомлення з об'єктом дослідження

Лабораторна установка (див. функціональну схему на рис.1 бланка звіту) складається з наступних об'єктів:

- тиристорного перетворювача частоти (ТПЧ) виконаного у шафі з двостороннім доступом, де розміщене основне електрообладнання, включаючи кола керування, силові й інформаційні кола перетворювача, силовий трансформатор і т.п.;
- пульта керування на лицьовій панелі шафи;
- асинхронного короткозамкненого двигуна (АД) з тахогенератором ВV;

Тиристорний перетворювач частоти типу ТПЧ-40 виконаний з колом постійного струму на базі автономного інвертора, принцип роботи якого розглянуто нижче.

На лицьових дверях шафи ТПЧ розміщені: сигнальна лампа, кнопки "Пуск" і "Стоп", регулятор "Швидкість", прилади рf і рU, що вимірюють частоту і діюче значення вихідної напруги перетворювача, а також функціональна схема електропривода. У пульті керування встановлено: автоматичний вимикач QF1, сигнальна лампа HL1, осцилограф для спостереження форми вихідної напруги ТПЧ, тахометр рп.

Напруга мережі живлення (див. функціональну схему електропривода, рис.1 бланка звіту) через вимикач QF1 і контактор КМ підводиться до силового трансформатору TV. До вторинних обмоток TV підключений керований випрямляч на 6 тиристорах VS7 – VS12, що виконано за трифазною мостовою схемою.

До виходу керованого випрямляча (КВ) приєднується дросель фільтра Lo і конденсатор Co, що забезпечує разом з діодами VD7— VD12 циркуляцію реактивної потужності. Автономний інвертор напруги виконано на тиристорах VS1 — VS6. Конденсатори С і реактори L разом з діодами VD1— VD6 утворюють кола штучної комутації, що забезпечують закриття

тиристорів $VS1 — VS6$ у потрібний момент. Амплітуда напруги на виході інвертора U_2 регулюється зміною напруги U_d на його вході за допомогою системи керування випрямляча (СК КВ), а його частота f_2 визначається частотою комутації тиристорів $VS1 — VS6$, що задається блоком системи керування інвертором (СК АІН).

Робота інвертора здійснюється таким чином.

Обмотка статора АД - симетричне трифазне навантаження (Z_a, Z_b, Z_c) і може з'єднуватися за схемою зірка або трикутник. Тиристири інвертору $VS1—VS6$ за сигналами із блоку керування відкриваються в необхідній послідовності, тобто являють собою ключі (рис.1,а), за допомогою яких фази навантаження підключають до затискачів + чи – джерела U_d . Звичайно тривалість відкритого стану кожного тиристора λ складає половину чи третину періоду $T_2 = 1/f_2$ (f_2 -частота вихідної напруги), а зсув моментів відкриття тиристорів $VS1—VS6$ складає шосту частину цього періоду.

Розглянемо спочатку роботу схеми з часом відкриття тиристорів $\lambda=T_2/2$.

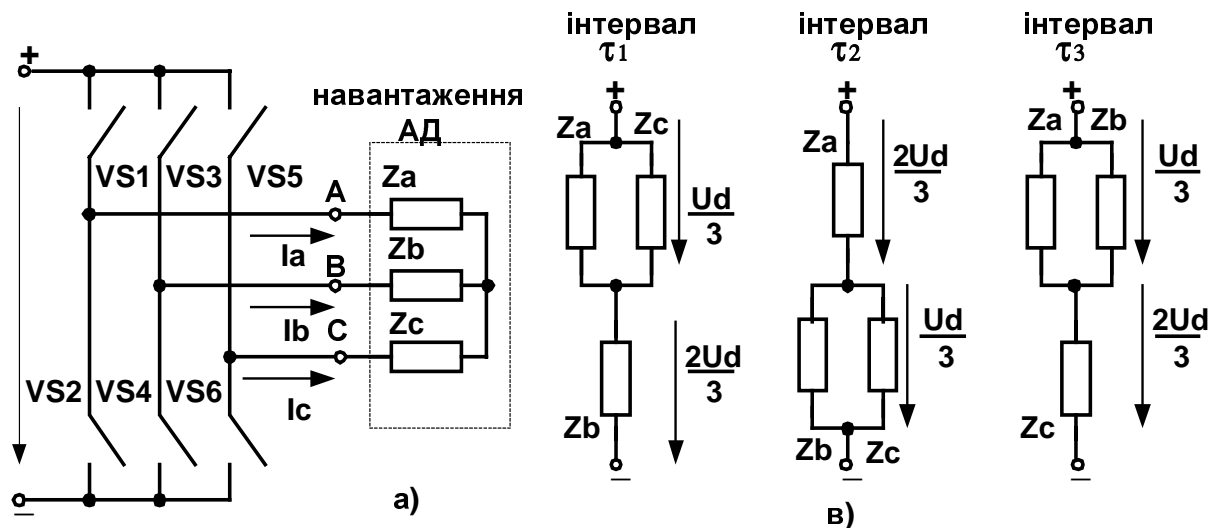


Рис.1 Еквівалентна схема трифазного автономного інвертора при з'єднанні навантаження зіркою

Тимчасова діаграма роботи тиристорів для цього випадку показана суцільною лінією на рис. 2 (для $\lambda=T_2/3$ пунктиром), де струми фаз, що проходять через непарні тиристири відкладені в позитивному напрямку, а струми через парні — у негативному. У кожен момент часу відкриті три тиристири із шести, причому за час періоду можна виділити шість інтервалів ($\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6$) за різними сполученнями відкритих і закритих станів тиристорів. Для визначення форми напруги на навантаженні розглянемо схеми вмикання фаз статора АД на кожному із шести інтервалів (рис.1,в).

На інтервалі τ_1 відкриті $VS1, VS5$ і $VS4$ і початки фаз A і C з'єднані з плюсовим виводом джерела $+U_d$, а початок фази B — з мінусовим виводом — U_d (рис.1,в). Якщо при цьому опори усіх трьох фаз однаковий, то еквівалентний опір паралельно з'єднаних фаз A і C буде в 2 рази менше опору фази B . Тоді і напруга на паралельно з'єднаних фазах A і C в 2 рази менше, ніж на фазі B , що складає $U_d/3$.

На інтервалі τ_2 відкриті $VS1$, $VS6$ і $VS4$, фази B і C увімкнені паралельно, до них прикладається напруга $U_d/3$, а до фази A — напруга $2U_d/3$.

При переході до інтервалу τ_3 закривається тиристор $VS4$ і відкривається $VS3$ ($VS1$ і $VS6$ як і раніше відкриті) - фази A і B вмикаються паралельно.

Таким же чином можна показати схеми з'єднання фаз обмотки статора для інтервалів τ_4 , τ_5 і τ_6 , що виявляться аналогічними відповідно схемам для інтервалів τ_1 , τ_2 і τ_3 , але з іншою полярністю напруги на початках фаз. Напруга на фазах навантаження (рис.2) змінна і містить два ступені, при цьому максимуми цієї напруги зсунуті по фазах на третину періоду регульованої частоти. Іншими словами, на навантаженні формується симетрична система трифазної напруги змінного струму, хоча і несинусоїдальної форми.

Трохи інша форма вихідної напруги ПЧ буде в тому випадку, коли тривалість відкритого стану кожного тиристора буде складати третину періоду T_2 регульованої частоти, а навантаження буде як і раніше з'єднано в зірку. У цьому випадку в кожен інтервал часу відкриті лише два тиристори і дві фази обмотки статора АД виявляються послідовно з'єднаними до напруги U_d , а третя фаза відімкнута від джерела. Відповідно до цього напруга на кожній з послідовно з'єднаних фаз дорівнює $U_d/2$, а на третій (вільній) дорівнює нулю.

Аналогічним засобом можна проаналізувати роботу при з'єднанні трифазного навантаження за схемою трикутник (рис.3).

Сигнал заданої швидкості двигуна $n_{зад}$ (рис.1 бланка звіту) подається на систему керування перетворювачем (СК ТПЧ), що виробляє дві керуючих напруги: пропорційну частоті U_{f2} і амплітуді U_{U2} вихідної напруги. Ці керуючі напруги подаються до системи керування інвертором (СК АІН) і керованого випрямляча (СК КВ), відповідно, формуючи тим самим на двигуні змінну трифазну напругу необхідної частоти (за рахунок частоти переключення інвертора) і амплітуди (за рахунок регулювання напруги на виході керованого випрямляча).

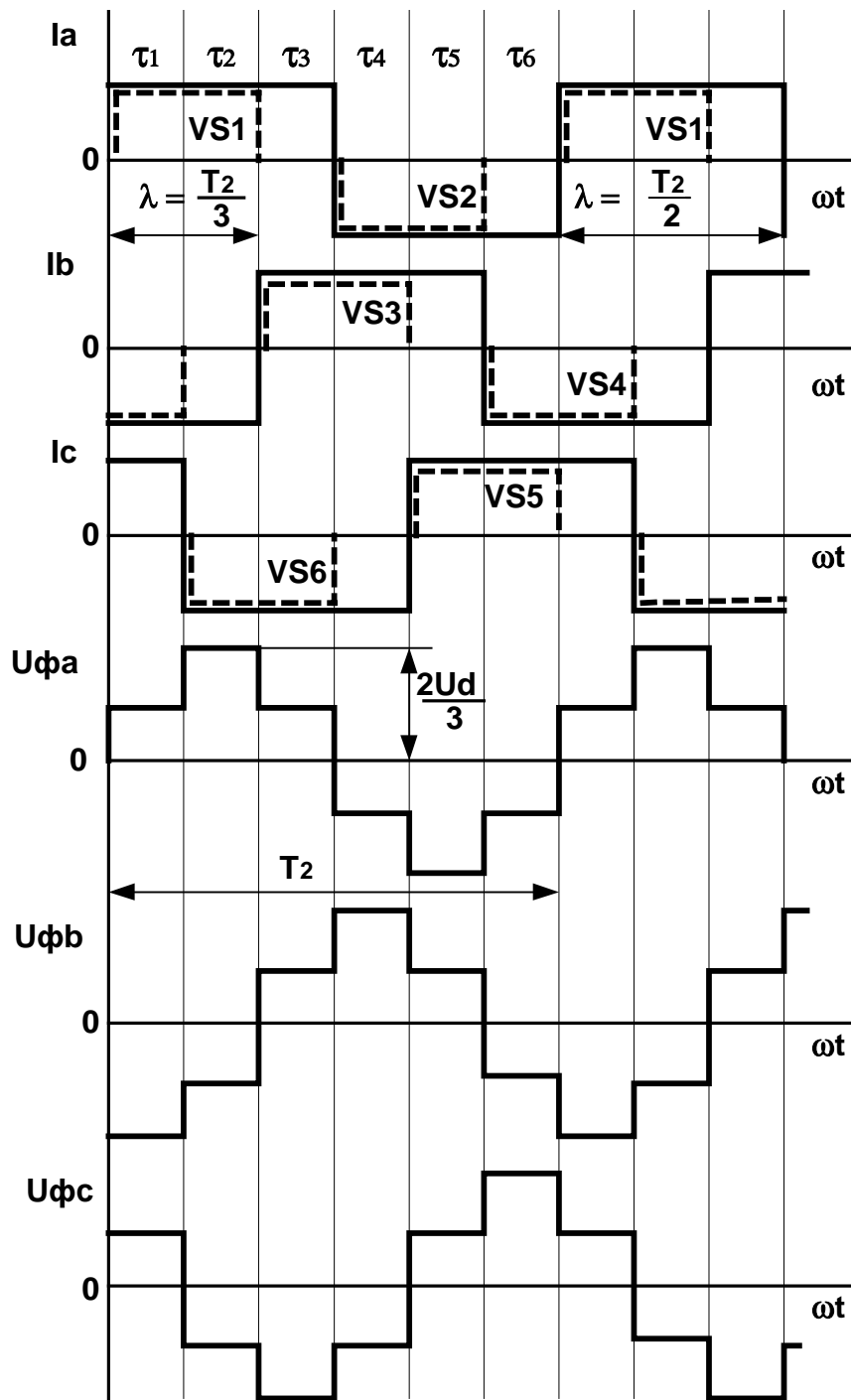


Рис. 2 Діаграми вихідної напруги АІН

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ:**1. Вивчення функціональної схеми системи ТПЧ-АД**

1.1. Вивчити функціональну схему системи. Відкривши передню і задню двері шафи ТПЧ, знайти всі елементи, згадані в описі.

УВАГА! Відкривати двері шафи ТПЧ можна тільки при відімкненому QF1.

1.2. Занести в бланк звіту паспортні дані АД і перетворювача частоти

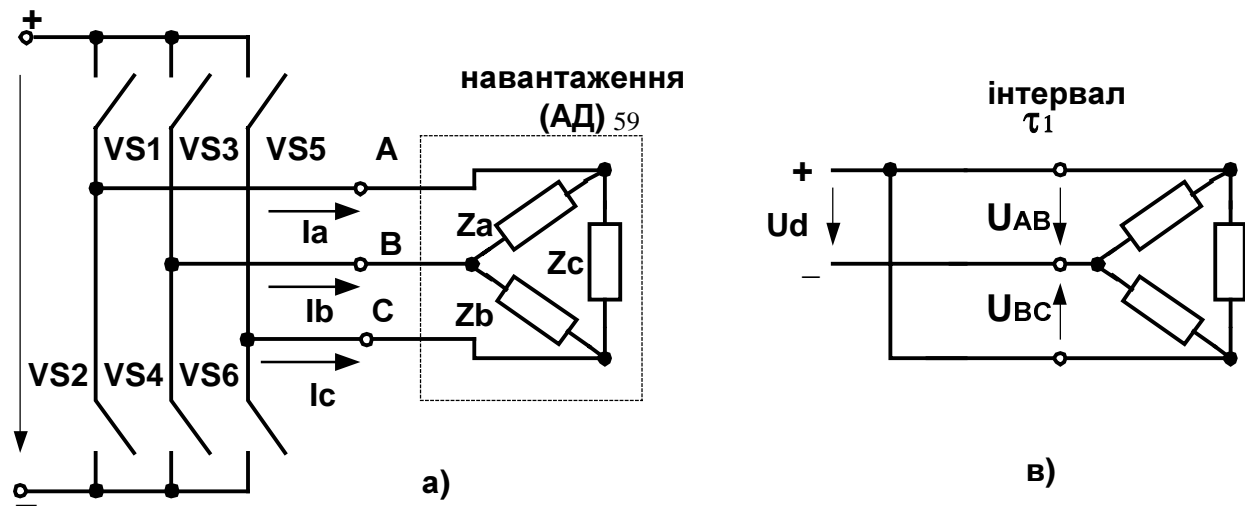


Рис.3 Еквівалентна схема трифазного автономного інвертора при з'єднанні навантаження у трикутник

2. Дослідження параметрів електропривода.

2.1. Увімкнути автоматичний вимикач QF1 подавши тим самим напругу на ТПЧ. При цьому повинні загоратися лампи HL1 на пульті керування і відповідна сигнальна лампа "Мережа" на шафі ТПЧ.

2.2. Встановити регулятор "Швидкість" у крайній лівий стан і натиснути кнопку "Пуск".

2.3. Повертаючи регулятор "Швидкість", переконаватися у відповідних змінах частоти обертання АД.

2.4. Встановлюючи за допомогою регулятора значення вихідної частоти ТПЧ відповідно до табл. 2.1 по частотоміру рf, занести показання вольтметра рU і тахометра рn у відповідні стовпчики таблиці 2.1.

2.5. Увімкнути осцилограф на пульті керування. Встановити значення $f_2 = 40$ Гц. Показати осцилограму вихідної напруги ТПЧ на рис.2 бланка звіту.

2.6. Зупиніть електропривод, натиснувши кнопку "Стоп" і відімкнувши QF1.

ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ:

1. За паспортними даними АД побудувати на рис.3 (бланка звіту) стійку частину його природної механічної характеристики від $n = n_0$ до $n = n_{кр}$.

2. Вважаючи перевантажувальну здатність двигуна незмінною, нарисувати на рис.3 сімейство штучних механічних характеристик для : $f_2=30$ Гц, 20 Гц, 5 Гц.

3. За даними табл. 2.1 нарисувати на рис.4 залежність $U_2(f_2)$

4. Нарисувати на рис.5 діаграми напруги інвертора для $\lambda = T_2/3$ при з'єднанні зірка (рис.5,а) і трикутник (рис.5,в).

Відповіді письмово на питання:

1. За якою схемою необхідно з'єднати обмотки, що використовується на стенді АД, при підключенні його до ТПЧ? Чому?

2. Чому при зміні вихідної частоти ТПЧ повинна змінюватися і величина напруги на двигуні?

3. Як впливає несинусоїдальність форми вихідної напруги ТПЧ на характеристики АД?

Дослідження системи тиристорний перетворювач частоти - асинхронний двигун (ТПЧ-АД)

Група	П.І.Б. студента	Дата	Підпис викладача

1. Вивчення функціональної схеми системи ТПЧ-АД

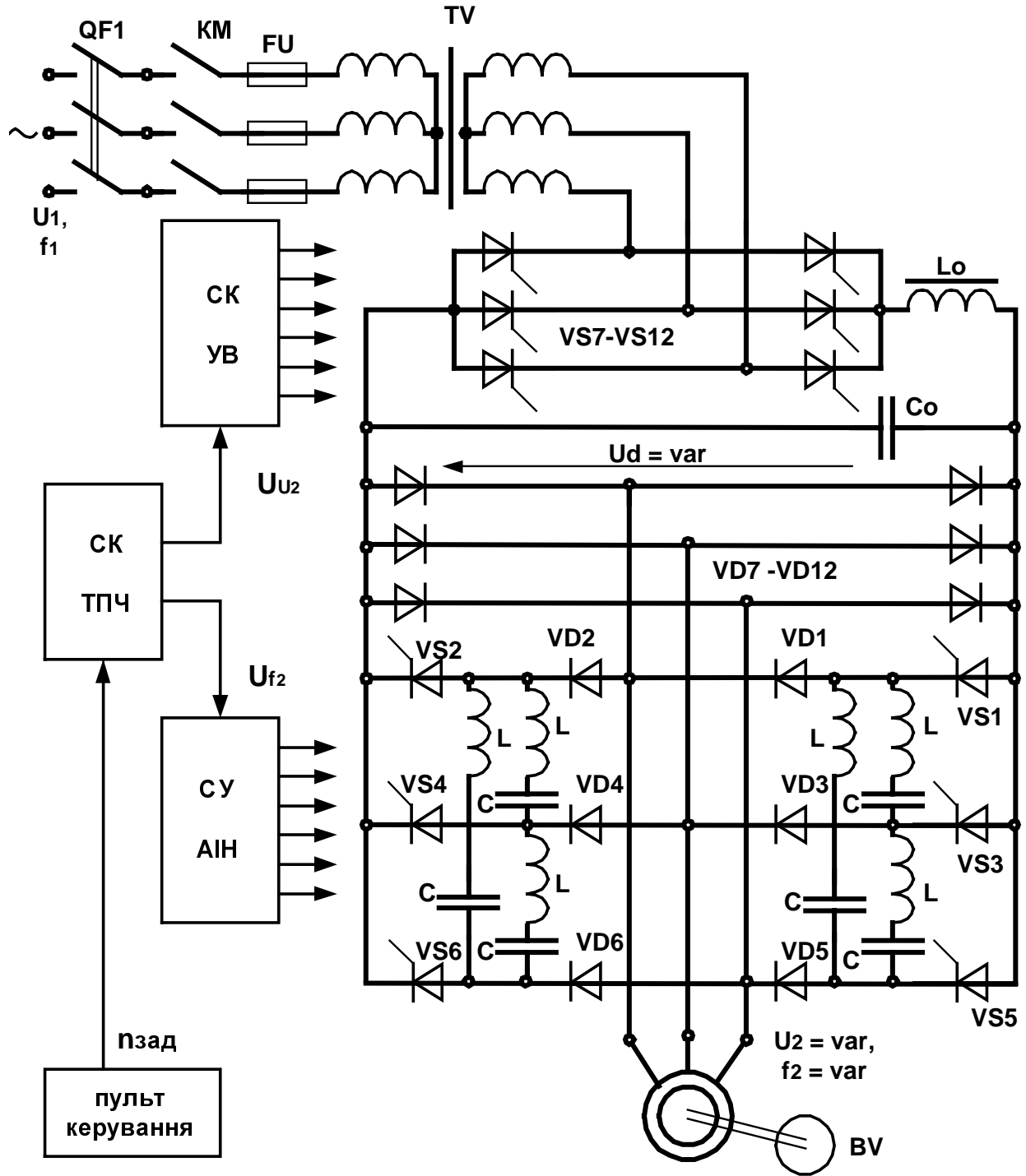


Рис.1 Схема експериментального стенду

Паспорт двигуна:Паспорт перетворювача частоти:

2. Дослідження параметрів системи

Таблиця. 2.1

f_2 , Гц	5	10	15	20	30	40	50
U_2 , В							
n , об/хв							

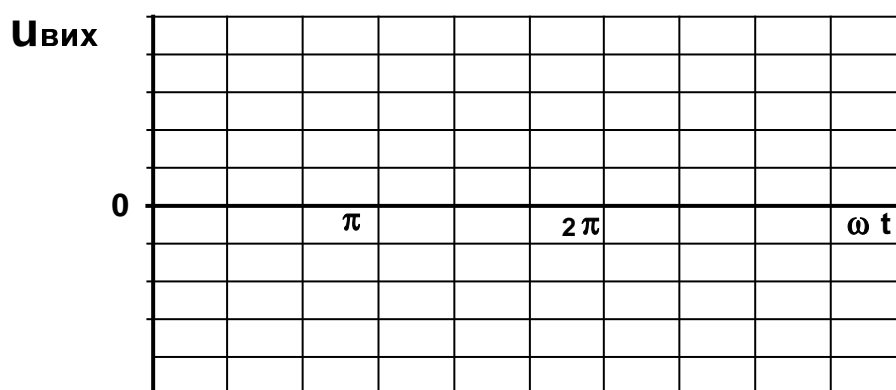


Рис.2 Осцилограма вихідної напруги ТПЧ

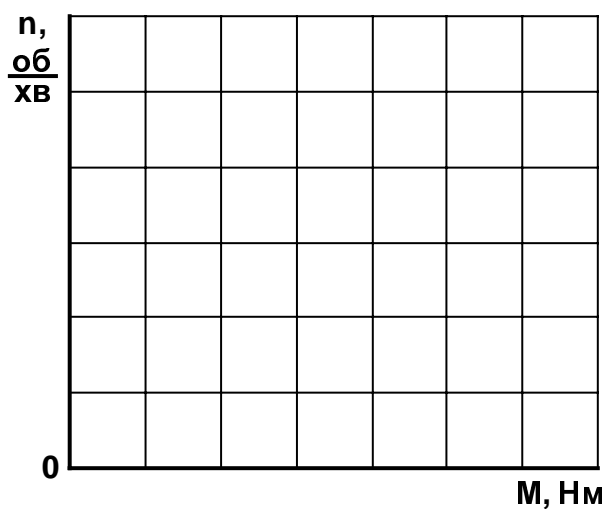


Рис. 3 Механічні характеристики АД

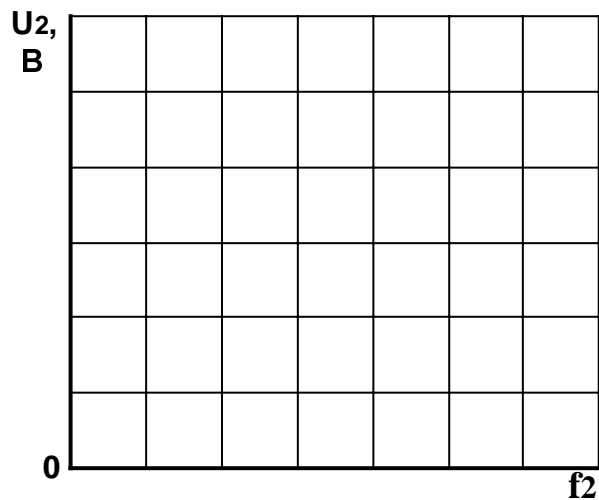


Рис.4 Залежність вихідної напруги від частоти

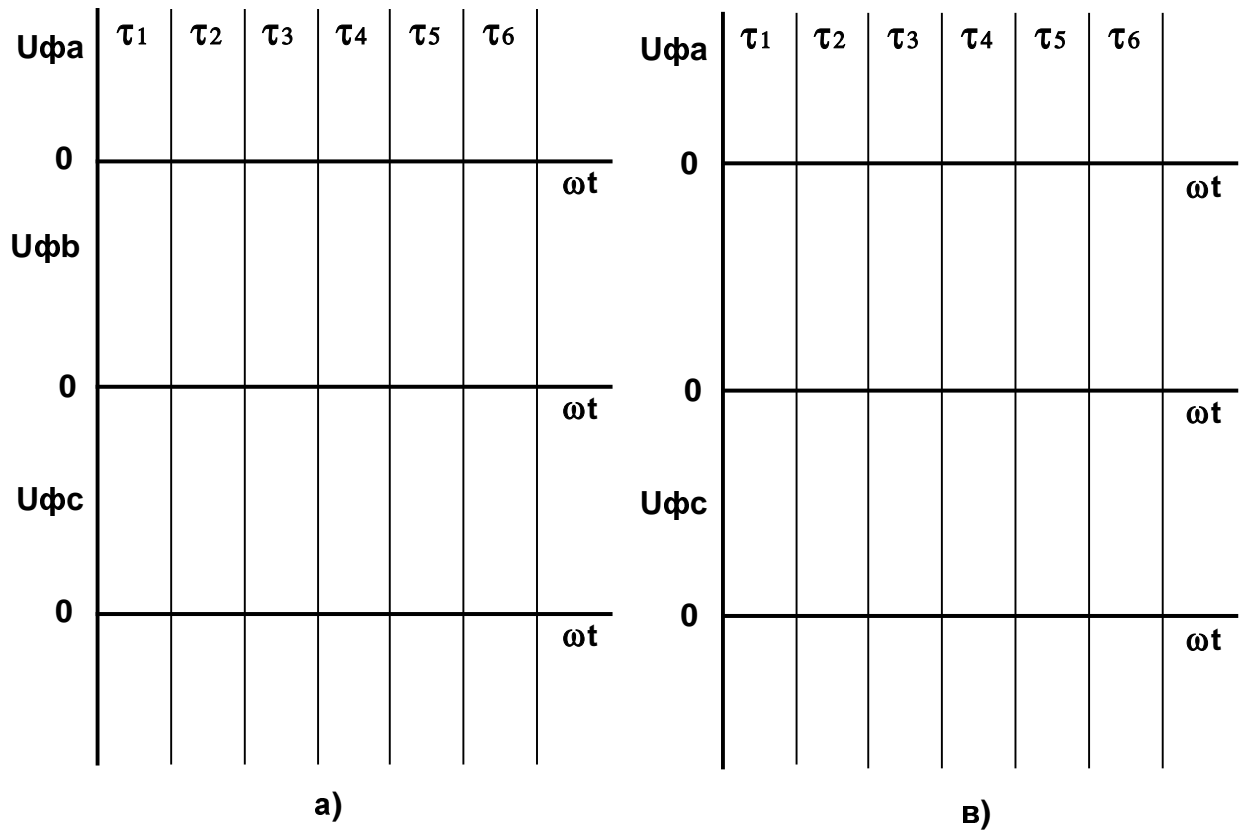


Рис.5 Діаграми вихідної напруги інвертора

Відповіді на питання

Розрахункова - графічна робота № 1

Розрахунок тиристорного перетворювача постійного струму**ВСТУП**

Дана розрахунково-графічна робота передбачає розрахунок тиристорного перетворювача (ТП) постійного струму певного функціонального призначення.

ТП містить у собі силовий трансформатор або реактор, що обмежує струм (СОР) на стороні змінного струму, силовий випрямляючий блок на тиристорах, реактор (дросель), що згладжує в випрямному колі, автоматичні вимикачі, систему керування і захисту.

Вхідні дані для розрахунку приведені нижче в табл.1, 2, 3. Номер варіанту вибирається відповідно до номера за журналом. Оформлюється робота відповідно з встановленими вимогами у вигляді пояснювальної записки.

Варіанти ТП

Таблиця 1

Варіант схеми	Тип перетворювача	Основні вимоги
А	Тиристорний збуджувач для синхронної машини	Регулювання I_B у межах (0.3 – 1.4) $I_{ном}$ для забезпечення роботи АРВ. Форсування напруги до $1.75U_{ном}$ (тривало). Гасіння поля в інверторному режимі ТП
В	Тиристорний перетворювач для живлення якірного кола ДПС	Допустиме значення пульсацій струму (5-10)% від $I_{ном}$. Допустиме перевантаження за струмом 2.5. Діапазон регулювання напруги (1 – 0.1) $U_{ном}$.
С	Тиристорний перетворювач для живлення нагрівальної установки	Навантаження активне (R_n). Діапазон регулювання потужності у навантаженні (1.5 – 0.1) $P_{ном}$.

Вхідні дані до розрахунку

Таблиця 2

Номер за журналом	Варіант схеми	Параметри навантаження			α , град.
		$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	Тип ДПС	
1	2	3	4	5	6
1.	А	230	500	-	60
2.	В	220		Д-41	50
3.	С	150	40		50
4.	А	75	320		45
5.	В	220		Д-806	55
6.	С	200	100		65

7.	A	115	320		60
8.	B	220		Д-808	50
9.	C	280	25		55
10.	A	150	320		60
11.	B	220		Д-810	50
12.	C	190	400		60
13.	A	230	320		45
14.	B	220		Д-812	45
15.	C	400	500		60
16.	A	118	302		60
17.	B	440		Д-41	55
18.	C	280	100		55
19.	A	460	500		65
20.	B	440		Д-808	50
21.	C	127	300		80
22.	A	230	1000		65
23.	B	440		Д-810	60
24.	C	330	200		50
25.	A	460	1000		60
26.	B	440		Д-812	55
27.	C	300	100		80
28.	A	118	302		45
29.	B	440		Д-814	60
30.	C	400	450		90
31.	A	65	279		65
32.	B	220		Д-814	45
33.	C	410	500		70
34.	A	70	306		40
35.	B	220		Д-816	50
36.	C	200	1000		90
37.	A	185	436		100
38.	B	220		Д-818	70
39.	C	400	250		90
40.	A	44	175		75
41.	B	440		Д-816	65
42.	C	200	500		65
43.	A	48	320		60
44.	B	440		Д-815	70
45.	C	300	20		95
46.	A	46	296		90
47.	B	220		Д-21	75
48.	C	300	50		50
49.	A	77	280		60

Таблиця 3

Номер варіанту	Вузол СІФК
3, 18, 33	Формувач синхроімпульсів
6, 21, 36,	Генератор пилкоподібної напруги
9, 24, 39	Вузол порівняння і формувач імпульсу
12, 27, 42,	Розподільник імпульсів
15, 30, 45, 48	Вихідний каскад

Примітка : довідкові дані по двигунам приведені в Додатку.

1. ЗАВДАННЯ

1. Обґрунтувати і вибрати схему силових кіл ТП з урахуванням вихідних даних: $R_{ном}$, U_1 і $U_{дном}$ ($U_{дmax}$), характеру навантаження, необхідних параметрів.

1.1. Розрахувати параметри силового випрямного блоку ТП і вибрати тиристори. З урахуванням вибраних тиристорів визначити параметри вихідного каскаду СІФК (U_k і I_k).

1.2. Розрахувати параметри і вибрати силовий трансформатор або реактор, що обмежує струм.

1.3. Розрахувати параметри реактора, що згладжує.

1.4. Вибрати автоматичні вимикачі на вході і виході ТП, розрахувати уставки спрацьовування захисту.

2. Розрахувати значення ударного струму к.з. на виході ТП, прийнявши типові значення параметрів мережі $X_{сб}=0,02\text{Ом}$, $R_{сб} = 0,01\text{Ом}$. Зробити висновок про тривалість комутаційних апаратів і тиристорів до к.з., запропонувати заходи для забезпечення такої стійкості.

3. Накреслити принципову схему силових кіл ТП, включаючи фільтро – компенсуючий пристрій (ФКП) з боку мережі змінного струму, а також прийняті засоби захисту, у тому числі й індивідуальні для тиристорів.

4. Розрахувати і побудувати залежність $U_d = f(\alpha)$, для однофазної мостової схеми з активним навантаженням також $\chi = f(\alpha)$. Визначити діапазон регулювання α у випрямному та інверторному режимах.

5. Розрахувати і нарисувати зовнішню характеристику ТП за заданим значенням α .

6. Визначити за заданим α напругу і потужність на навантаженні, загальні активну і реактивну потужності, що споживається від мережі, а також потужність ФКП, що забезпечує коефіцієнт потужності $\chi = 0,97$. Для ДПС розрахунок виконати за номінальним струмом якорю.

7. Нарисувати тимчасові діаграми напруги мережі, напруги на навантаженні за заданим кутом α , а також діаграму розподілу імпульсів керування тиристорами.

8. Нарисувати структурну схему системи імпульсно-фазового керування (СІФК) і стисло описати її. Для варіанта С схем ТП також приклад реалізації вузла СІФК відповідно до табл.3.

2.МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИКОНАННЮ

Вибір схеми випрямлення здійснити за наступними рекомендаціями:

- однофазна мостова схема за потужністю ТП до 10 кВт;
- трифазна нульова схема за потужністю ТП до 50 кВт;
- трифазна мостова схема за потужністю ТП до 3000 кВт.

При виборі схеми живлення ТП варто оцінити можливість використання реактора для обмеження струму або трансформатора для одержання заданого значення випрямленої напруги за напругою мережі живлення 380/220В. Середнє значення випрямленої напруги на виході ТП варто прийняти рівним:

$$U_{do} = K_u U_d,$$

де $K_u = (1.2-1.25)$ - коефіцієнт, що враховує можливе зниження напруги у мережі, втрати напруги в схемі ТП і т.п.;

U_d – необхідне (за умовою) значення випрямної напруги.

Довідкові дані по реактору для обмеження струму можна знайти в /5/ стор.179 і /8/ стор.303, по трансформаторам у /8/ на стор.269 і Додатку (табл.П.3).

Вибір тиристорів силової схеми і розрахунок параметрів трансформатора наведені в /2/ і /3/ для відповідних варіантів силової схеми. Основні співвідношення для цих схем приведені в Додатку.

Вибір тиристорів включає:

- розрахунок струму через тиристор у нормальному режимі і режимах перевантаження (тривалого і короткочасного);
- попередній вибір за струмом $I_{оспрмак} \geq IVS/K_o$, де K_o – коефіцієнт, що залежить від умов охолодження*) (при примусовому охолодженні $K_o=0.8-1.0$, при природному для струмів до 50А прийняти $K_o= 0.5$, для струмів 50-160А прийняти $K_o=0.4$, для струмів 160-500А прийняти $K_o=0.3$),
- розрахунок за напругою і вибір класу з урахуванням схеми і прийнятого захисту від перенапруг.

**)- при малих і середніх потужностях з метою спрощення конструкції ТП можна застосовувати природне охолодження тиристорів при використанні стандартного охолоджувача.*

Дросель, що згладжує, у колі випрямного струму встановлюється за одержанням необхідних показників згладжування випрямленого струму, якщо індуктивність навантаження недостатня.

Необхідне значення індуктивності у колі постійного струму з урахуванням припустимого рівня пульсацій $I_{пульс}$:

$$L_d = U_{пульс.мах.} / m\omega_o I_{пульс.}, \quad (1)$$

де: m – число пульсацій;

ω_o – кутова частота основної гармоніки (мережі);

$$U_{пульс.мах.} = 2U_{do} \cdot \cos\alpha_{мах.} \cdot [\sqrt{(1+m^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{мах.})}] / (m^2 - 1), \quad (2)$$

Значення $\alpha_{мах.}$ визначається необхідним діапазоном регулювання вихідної напруги ТП.

Індуктивність дроселя $L_{др} = L_d - L_n$ (L_n - індуктивність навантаження). Для двигуна постійного струму індуктивність якірного кола $L_{я} =$

$L_n = 0.55 U_{ном} 30 / \pi I_{я_{ном}} n_{ном} p$ (р – число пар полюсів). Довідкові дані для вибору дроселя можна знайти в /5, 8/.

Розрахунок струму к.з. можна вести за спрощеною методикою, зневажаючи опором кабелю і шин, враховуючи тільки опір мережі живлення, трансформатора (ТОР) і диференційний (динамічний) опір тиристора.

Довідкові дані до вибору автоматичних вимикачів і запобіжників (рекомендується використовувати спеціальні типу ПП57) можна знайти в /6/ (стор.182 і стор.199).

Виконуючи розрахунок регульовочної характеристики $U_{dx}(\alpha)$ у режимі холостого ходу треба визначити діапазон регулювання α для забезпечення необхідних значень вихідної напруги (у режимі інвертування - граничне значення кута випередження β щоб уникнути “проривання” інвертора). За активним навантаженням розрахунок $U_{dx}()$ виконується відповідно до табл.П.1. За індуктивним навантаженням $U_{dx}(\alpha) = U_{d0} \cos \alpha$.

Розрахунок зовнішньої характеристики $U_d(I_d)$ при безперервному струмі навантаження виконується відповідно до вираження:

$$U_d = U_{dx} - \Delta U_{то} - (m X_a / 2\pi + R_{\phi}) I_d, \quad (3)$$

де $U_{то}$ – втрати напруги на тиристорі (для мостових схем враховувати два тиристори);

$R_{\phi} = R_t + 2R_{дин} + R_{др}$ - за однофазної мостової схеми,

де R_t , $R_{дин}$, $R_{др}$ – активні опори трансформатора, тиристора і дроселя;

$R_{\phi} = R_t + R_{дин} + R_{др}$ - за трифазної нульової схеми;

$R_{\phi} = 2(R_t + R_{дин}) + R_{др}$ - за трифазної мостової схеми;

X_a – “анодний” індуктивний опір трансформатора і мережі живлення змінного струму.

Величина $m X_a / 2\pi$ визначає втрати напруги через перекриття тиристорів у процесі комутації і виявляє себе як еквівалентний активний опір.

При переривчастому струмі

$$U_d = U_{dx} - \Delta U_{то} - R_{\phi} I_d. \quad (4)$$

Для спрощення розрахунків активну потужність, що споживається від мережі, можна прийняти $P_1 \approx 1.1 P_d$.

Коефіцієнт потужності ТП:

$$\chi = K_i \cos \varphi_{(1)} = K_i \cos(\alpha + \gamma/2), \quad (5)$$

де K_i - коефіцієнт перекручування форми струму;

α - кут комутації.

Якщо навантаження - активне і струм – переривчастий, кут α не враховувати.

Коефіцієнт викривлення залежить від числа фаз перетворення m :

$$m = 2 \quad K_i = 0.9$$

$$m = 3 \quad K_i = 0.935$$

$$m = 6 \quad K_i = 0.955.$$

Кут комутації γ :

$$\gamma = \arccos[\cos \alpha - \pi X_a I_d / (U_{d0} \cdot m)] - \alpha. \quad (6)$$

При виборі ФКП необхідно враховувати, що реактивна потужність ТП залежить від кута і змінюється у широких межах. Окрім того, ТП є джерелом

вищих гармонік. Тому для ефективної компенсації бажано використовувати сучасні варіанти тиристорних ФКП /3 /, /5 /.

Структурна схема синхронної СІФК, що виконана за "вертикальним" принципом, містить один чи три канали відповідно для одно - і трифазної схеми ТП. Кожен канал містить фільтр, формувач синхроімпульсів за відповідною фазою мережі, генератор пилкоподібної напруги, вузол порівняння і формувач імпульсів керування, схему логіки розподілу імпульсів катодної й анодної груп тиристорів ТПУ, вихідний каскад.

Розрахунково - графічна робота № 2
**Розрахунок силового напівпровідникового
перетворювального приладу**

ВСТУП

Дана розрахунково-графічна робота передбачає розрахунок силового напівпровідникового перетворювального приладу (СНПП) певного функціонального призначення.

Вхідні дані до розрахунку наведені нижче в табл. 1, 2. Номер варіанту вибирається в відповідності до номера з журналу. Оформлюється робота в відповідності за встановленими вимогами у вигляді пояснювальної записки.

Варіанти СНПП

Таблиця 1

варіант схеми	Тип СНПП	Призначення і основні вимоги
А	Тиристорний перетворювач змінної напруги	Регулювання потужності трифазної електропечі. Навантаження активне. Діапазон регулювання потужності (1.0 – 0.1) $P_{ном}$.
В	Імпульсний перетворювач постійної напруги з ШІМ	Регулювання і стабілізація напруги в мережі постійного струму. Навантаження активне. Живлення від мережі постійного струму (акумуляторної батареї).
С	Безпосередній перетворювач частоти (БПЧ)	Частотне управління асинхронним двигуном з к.з. ротором.
Д	Перетворювач частоти з автономним інвертором струму (АІС)	Частотне управління асинхронним двигуном з к.з. ротором.
Е	Перетворювач частоти з автономним інвертором напруги і амплітудним регулюванням (АІН)	Частотне управління асинхронним двигуном з к.з. ротором.
Ф	Перетворювач частоти з автономним інвертором напруги з ШІМ	Частотне управління асинхронним двигуном з к.з. ротором.
Г	Перетворювач частоти з автономним інвертором струму	Живлення однофазної установки індукційного нагрівання. Навантаження активно-індуктивне.
Н	Тиристорний перетворювач змінної напруги	Управління асинхронним двигуном з к.з. ротором.

Вхідні дані до розрахунку

Таблиця 2

Номер з журналу	Варіант схеми	Параметри навантаження			
		$P_{ном}$, кВт	$U_{ном}$, В	$\eta_{ном}$, %	$\cos \phi_{ном}$
1	2	3	4	5	6
1.	A	250	380	-	1
2.	B	12	230	-	-
3.	C	37	220	81	0.8
4.	D	22	380	81	0.79
5.	E	45	380	82	0.8
6.	F	55	380	83	0.82
7.	G	150	400	94	0.87
8.	H	75	380	93	0.84
9.	F	90	380	91	0.87
10.	A	630	380	-	1
11.	B	25	230	-	-
12.	C	55	380	82	0.83
13.	D	45	220	89	0.86
14.	E	75	220	91	0.89
15.	F	100	220	92	0.89
16.	G	200	800	93	0.88
17.	H	125	380	92	0.9
18.	F	100	660	90	0.9
19.	A	300	380	-	1
20.	B	50	230	-	-
21.	C	75	500	85	0.85
22.	D	75	660	91	0.89
23.	E	150	660	92	0.89
24.	F	110	660	91	0.88
25.	G	125	400	93	0.89
26.	H	65	380	93	0.87
27.	F	47	220	92	0.86
28.	A	400	380	-	1
29.	B	35	230	-	-
30.	C	100	660	87	0.85
31.	D	85	380	88	0.87
32.	E	63	660	89	0.89
33.	F	140	660	93	0.84
34.	G	250	800	91	0.9
35.	H	75	380	95	0.86
36.	F	115	660	94	0.88
37.	A	500	380	-	1
38.	B	45	230	-	-
39.	C	75	220	86	0.84

40.	D	200	660	94	0.89
41.	E	230	380	93	0.87
42.	F	145	380	91	0.86
43.	G	100	400	90	0.9
44.	H	95	380	92	0.88
45.	F	112	660	91	0.87
46.	A	200	380	-	1
47.	B	100	230	-	-
48.	C	90	380	87	0.85
49.	D	125	380	85	0.85

2. ЗАВДАННЯ

1. Обґрунтувати і обрати з урахуванням вхідних даних схему силових кіл. Розрахувати параметри і вибрати основні елементи схеми.
2. Накреслити принципову схему силових кіл СНПП. Передбачити засоби захисту.
3. Навести тимчасові діаграми напруги (струму) навантаження, а також сигналів керування. Дати стислий опис схеми і принципу роботи.
4. Нарисувати структурну схему системи керування і стисло описати її. В варіантах А і Н розрахувати і регульовочну характеристику СНПП.

2. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИКОНАННЮ

При виборі схеми живлення СНПП слід оцінити необхідність (можливість) використання на вході реактора, що обмежує струм (СОР), або трансформатора для отримання заданого значення вихідної напруги в навантаженні за напругою мережі живлення 380/220В. Для цього необхідно, виходячи з заданого значення вихідної напруги (при несинусоїдальній напрузі розрахунок вести по основній гармоніці) визначити напругу на вході СНПП і порівняти з напругою мережі: при близьких значеннях достатньо СОР, в протилежному випадку необхідно використання.

Рекомендації до розрахунку параметрів і вибору елементів силової схеми за відповідними варіантами СНПП наведені нижче. При виборі силових елементів необхідно також враховувати умови охолодження.

Варіант А. Тиристорний перетворювач змінної напруги

Використовується схема симетричного трифазного перетворювача на 6 тиристорах (3 симисторах) з природною комутацією при безпосередньому підключенні до мережі. Регулювання фазове (шляхом зміни кута відкриття тиристорів) і широтно-імпульсне.

Розглянути два варіанти підключення навантаження:

- за схемою зірка з нейтральним проводом;
- за схемою зірка без нейтрального проводу.

За наявності нейтрального проводу робота кожної з фаз не залежить від інших, розрахунок визначається тими же співвідношеннями, що і для однофазної схеми.

В випадку без нейтрального проводу робота всіх фаз взаємопов'язана і для протікання струму навантаження необхідно одночасне відкриття тиристорів в двох або трьох фазах. Форма напруги на навантаженні залежить від куту регулювання α . Діюче значення напруги визначається виразами [9]:

$$U_n = U_m \sqrt{[(\pi/2 - 3(\alpha - 0.5 \sin 2\alpha)/4)/\pi]}, \quad \text{при } 0 < \alpha < 60^\circ$$

$$U_n = U_m \sqrt{[3(\pi/3 + (3 \sin 2\alpha + \cos 2\alpha \sqrt{3})/4)/4\pi]}, \quad \text{при } 60^\circ < \alpha < 90^\circ$$

$$U_n = 0.5 U_m \sqrt{[(5\pi/2 - 3\alpha + (3 \sin 2\alpha + \cos 2\alpha \sqrt{3})/4)/\pi]}, \quad \text{при } 90^\circ < \alpha < 150^\circ$$

Поряд з фазовим керуванням в ТПН застосовується широтно-імпульсне регулювання, коли чергуються інтервали відкритого та закритого станів тиристорів. Закриття здійснюється в моменти переходу струму через нуль. Використання даного принципу дозволяє мати у навантаженні синусоїдальну напругу.

Діюче значення струму через навантаження в випадку тривалості стану, що проводить більш одного періоду напруги мережі

$I_n = \gamma I_{no}$, де $\gamma = T_{відк} / (T_{відк} + T_{закр})$, а I_{no} відповідає $\gamma = 1$ ($I_{no} = U/R_n$). Тривалість циклу прийняти в межах 1-3с.

Середнє значення струму тиристора $I_{Vscr} = (\gamma I_{no} \sqrt{2})/\pi$.

Варіант В. Імпульсний перетворювач постійної напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ)

Живлення схеми здійснюється від мережі постійного струму $U=230В$. Навантаження з урахуванням дроселя, що згладжує, активно-індуктивне.

Розглянути два варіанти виконання:

- На вентилі, що повністю управляється (транзистор або тиристор, що зачиняється);

- На тиристорі, що не зачиняється, з штучною комутацією.

Для забезпечення безперервності струму в навантаженні індуктивність іі:

$$L_n \geq R_n (1 - \gamma)/2f,$$

γ - коефіцієнт заповнення (мінімальне значення), f - частота комутації. Значення f визначається частотними властивостями вентилів (час відновлення $t_{вос}$). При використанні тиристорів, що не зачиняються, $f = (100 \div 400)$ Гц, для транзисторного перетворювача $f = (1 \div 20)$ кГц.

Слідє враховувати, що транзистори у відзнаку від тиристорів і діодів вибираються не по середньому, а по максимальному значенню струму навантаження (колектора). Амплітуда струму колектора визначається сумою найбільшого струму навантаження (середнє значення) і половини пульсацій струму: $I_{кмах} = I_{нмах} + (U/8L_n * f)$, де U - напруга джерела.

Середнє значення струму робочого тиристора і зворотнього діоду:

$$I_{Vscr} = \gamma I_{нсп}, \quad I_{VDcr} = I_{нсп} (1 - \gamma), \quad I_{нсп} = U_{нсп}/R_n.$$

При штучній комутації ємність конденсатора C_k , що комутує і індуктивність реактора L_k :

$$C_k \geq (t_{вос} * I_{нmax})/U, \quad L_k = (0.27 t_{вос} * U) / I_{нmax}.$$

Тиристор і діод, що комутують, повинні мати гарні частотні властивості, по струму практично не навантажені, по напрузі вибираються того ж класу, що і робочий тиристор.

Варіант С. Безпосередній перетворювач частоти (БПЧ)

Розглядається трифазний перетворювач частоти з безпосереднім зв'язком (БПЧ) за трифазною нульовою схемою на 18 тиристорах (без нульового проводу) з роздільним керуванням і синусоїдальною модуляцією куту відмикання тиристорів.

Слідє враховувати, що роздільне керування групами тиристорів дозволяє уникнути установки реакторів у вихідному колі перетворювача.

При природній комутації максимальне значення вихідної частоти БПЧ f_2 обмежено $f_{2max}=0.6f_1$. Для забезпечення постійності магнітного потоку асинхронного двигуна в системі БПЧ - АД вихідна напруга U_2 регулюється в відповідності з законом частотного управління $U_2 / f_2 = const$. В наслідок того, що вихідна напруга U_2 БПЧ несинусоїдальна, в подальшому враховується її основна (перша) гармоніка U_{21} .

По необхідному значенню U_{21} можна визначити діюче значення фазної напруги вторинної обмотки трансформатора

$$U_{T2} = 2\pi U_{21} / \sqrt{3m} * \cos \alpha_0,$$

де U_{21} - найбільше діюче значення вихідної напруги БПЧ,

$m=3$ – еквівалентне число фаз силової схеми,

α_0 - мінімальний кут відкриття тиристорів.

Діюче значення вхідного струму (вторинної обмотки трансформатора) $I_{T2} = 2I_2 / \sqrt{3}$ (I_2 -вихідний струм БПЧ).

Навантаження тиристорів за струмом на різноманітних частотах відрізняється, найбільше приходить на f_{2max} , коли струм проводить практично тільки один тиристор з катодної і анодної груп. Середнє значення струму тиристора при цьому $I_{Vscr}=I_2/\pi$.

Варіант D. Перетворювач частоти з автономним інвертором струму (AIC)

Використати схему трифазного мостового паралельного AIC з діодами, що відсікаються. Випрямляч в колі постійного струму керований за трифазною мостовою схемою.

За заданим струмом навантаження I_n (розрахунок за основною гармонікою струму $I_n = I_{n1}$) можна визначити першу (основну) гармоніку вихідного струму інвертора I_{i1} і струм I_d в колі постійного струму:

$$I_{i1} = I_{n1} \cos \varphi_n / \cos \beta, \quad I_d = I_{i1} \pi / \sqrt{6},$$

де $\cos \varphi_n$ – коефіцієнт потужності навантаження,

β - кут зсуву основних гармонік напруги навантаження i_n і струму інвертора i_i . β - визначає час, що надається для відновлення керованості тиристорів.

Значення $\beta > \beta_{\min} = (1.3-1.5) 2\pi f_{\max} \cdot t_{\text{вос}}$.

Діюче значення фазної напруги на навантаженні $U_{\text{нф}} = U_d / (2.34 \cos \beta)$.

Діюче значення лінійної напруги на вході ТПЧ (УВ)

$$U_{1\text{л}} = \pi U_d / (3\sqrt{2} \cos \alpha_{\min}),$$

де $\cos \alpha_{\min}$ - мінімальний кут відмикання тиристорів УВ. Виходячи з зіставлення, отриманого значення $U_{1\text{л}}$ і напруги мережі визначити необхідність трансформатора на вході. При близьких значеннях погодження напруги виробляється шляхом збільшення α мін.

Середнє значення струму силових тиристорів і діодів, що відсікають $I_{\text{vs}} = I_{\text{VD}} = I_d / 3$.

Максимальна напруга для вибору вентилів АІС визначається з урахуванням початкової (максимальної) напруги на комутуючих конденсаторах $U_{\text{со}} = K_u \cdot U_{\text{лнм}}$,

де $K_u \leq 1.8-2.0$, $U_{\text{лнм}}$ - амплітуда лінійної напруги навантаження.

Розрахунок ємності комутуючих конденсаторів виробляється з умови компенсації реактивної потужності навантаження і забезпечення стійкої комутації

$$C = Q_c / 6\omega U_2, \quad Q_c = Q_n + P_n \cdot \text{tg} \beta.$$

Індуктивність реактора, що згладжує

$$L_d \geq (1.5 \div 2.0) U_{1\text{л}} (1 - 0.5\sqrt{3}) / \Delta I_d \cdot \omega \sqrt{2},$$

де ΔI_d амплітуда пульсацій струму (в межах 5-10% від $I_{\text{дном}}$)

Варіант Є.. Перетворювач частоти з автономним інвертором напруги і амплітудним регулюванням (АІН)

Використати трифазний мостовий паралельний АІН з діодами, що відсікаються. Випрямляч в колі постійного струму керований за трифазною мостовою схемою.

Розрахунок струмів і напруги в схемі виробляється за основною гармонікою.

Вихідна напруга АІН при з'єднанні навантаження

за схемою «Y» $U_{\text{нф}} = U_d \sqrt{2/3}$,

за схемою «Δ» $U_{\text{нф}} = U_d \sqrt{2/\sqrt{3}}$.

Розрахунок струму I_d на вході АІН можна виконати з умови рівності активної потужності на вході і виході АІН (втратами в схемі АІН нехтуємо): $P_n = P_d = U_d I_d$.

Розрахунок УВ і трансформатора на вході виконати аналогічно варіанту D.

Середнє значення струму тиристорів і діодів, що відсікаються:

$$I_{\text{vsр}} = I_{\text{VDср}} = I_d (1 + \cos \phi) / 3.$$

Середнє значення струму діодів зворотного мосту

$$I_{\text{VDоб.ср}} = I_d (1 - \cos \phi) / \pi,$$

де φ - кут зсуву перших гармонік напруги і струму навантаження,

$$\gamma = \operatorname{tg} \ln \varphi [(4a-5)/(a-2)], \quad a = \exp (-\pi/3 \operatorname{tg} \varphi).$$

Ємність вхідного конденсатора з умови обмеження коливань напруги на вході АІН на рівні $q = \Delta U_d / U_d \leq (0.05-0.1)$:

$$C \approx I_{\text{нм}} * \sin \varphi / (48f U_d * q).$$

Варіант F. Перетворювач частоти з автономним інвертором напруги з ШІМ

Використати трифазний мостовий АІН на транзисторах (біполярних або IGBT) з зворотними діодами. Модуляція двополярна. Випрямляч в колі постійного струму некерований за трифазною мостовою схемою.

Розрахунок напруги U_d і струму I_d на вході АІН виробляється аналогічно варіанту E.

Середнє значення струму через силовий вентиль визначається для найбільш важкого режиму роботи на низькій частоті, коли він тривалий час комутує амплітудне значення струму навантаження при мінімальному значенні γ :

$$I_{\text{вср}} = I_{\text{нм}} (1 + \gamma) / 2.$$

При виборі транзистора необхідно враховувати амплітудне значення струму навантаження і допустиме перевантаження по струму (для АД прийняти $I_{\text{вт}} = 2I_{\text{адм}}$).

Середнє значення струму через зворотний діод для найбільш важкого режиму роботи на низькій частоті: $I_{\text{VDср}} = I_{\text{нм}} (1 - \gamma) / 2$.

Розрахунок випрямляча і трансформатора на вході виконати виходячи з отриманих вище значень U_d і I_d .

Ємність конденсатора на вході АІН:

$$C = [\gamma I_{\text{нм}} * \sin^2 ((\varphi - \pi/6)/2) \sqrt{3}] / 2f \Delta U_c,$$

де f – частота комутації (її значення слідує приймати в межах 1 – 2.5 кГц), ΔU_c – допустима перенапруга на конденсаторі (з розрахунку $\Delta U_c \leq (0.05-0.1) U_d$), γ - максимальне значення коефіцієнта модуляції.

Варіант G. Перетворювач частоти з автономним інвертором струму

Використати однофазний мостовий паралельний АІС. Випрямляч в колі постійного струму керований за трифазною мостовою схемою. Частота вихідної напруги $f = 500$ Гц.

За заданим струмом навантаження I_n (розрахунок за основною гармонікою струму $I_n = I_{n1}$) можна визначити першу (основну) гармоніку вихідного струму інвертора I_{i1} і струм I_d в колі постійного струму

$$I_{i1} = I_{n1} \cos \varphi_n / \cos \beta, \quad I_d = I_{i1} * \pi / 2 \sqrt{2},$$

де $\cos \varphi_n$ – коефіцієнт потужності навантаження,

β - кут зсуву основних гармонік напруги навантаження u_n і струму інвертора i_i , що визначає час, який надається для відновлення керуємості тиристорів.

Значення $\beta > \beta_{\text{мін}} = (1.3-1.5) 2\pi f * t_{\text{вос}}$.

Діюче значення напруги на навантаженні $U_n = U_d / (0.9 \cos \beta)$.

Діюче значення лінійної напруги на вході ТПЧ (УВ)

$$U_{1л} = \pi U_d / (3\sqrt{2} \cos \alpha_{\min}),$$

де $\cos \alpha_{\min}$ - мінімальний кут відмикання тиристорів УВ. Виходячи з зіставлення, отриманого значення $U_{1л}$ і напруги мережі визначити необхідність установки трансформатора на вході. При близьких значеннях погодження напруги виробляється шляхом збільшення α_{\min} . Середнє значення струму силових тиристорів УВ $I_{vs} = I_d / 3$.

Середнє значення струму силових тиристорів АІТ $I_{vs} = I_d / 2$.

Розрахунок ємності комутуючих конденсаторів виробляється з умови компенсації реактивної потужності навантаження і забезпечення стійкої комутації

$$C = Q_c / \omega U^2, \quad Q_c = Q_n + P_n \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

Індуктивність реактора, що згладжує розрахувати з умови обмеження амплітуди пульсацій струму в межах 5-10% від I_d .

Варіант Н. Тиристорний перетворювач змінної напруги

Використовується схема симетричного трифазного перетворювача на 6 тиристорах (3 симисторах) з природною комутацією при безпосередньому підключенні до мережі. Навантаження підключене за схемою зірка без нейтрального проводу.

Передбачити можливість безконтактного реверсу АД, ввести в схему необхідні для цього вентиля.

При виборі тиристорів ТПН в статорних колах АД необхідно враховувати, що в процесі відмикання двигуна напруга на тиристорах значно підвищується за рахунок ЕРС, що наводяться затухаючим полем ротора. В відповідності з цим клас тиристора: $U = 1.2 U_{лм} \cdot k_1 \cdot k_2$, де $k_1 = 1.05 \div 1.07$ коефіцієнт, що враховує допустиме підвищення напруги в мережі; k_2 - коефіцієнт, що враховує ЕРС, яка наводить ($k_2 = 1.4 \div 1.5$ при $P_{ном} \leq 4.5$ кВт і $k_2 = 1.5 \div 1.8$ при $P_{ном} \geq 4.5$ кВт).

Найчастіше ТПН застосовуються для асинхронних приводів з важким пуском, великою кількістю вмикань, великою тривалістю розгону, тому при виборі тиристорів треба враховувати пусковий струм:

$$I_{vs} \geq k_p \cdot I_{ном} / k_c \cdot k_o,$$

Де k_p – кратність пускового струму, k_c – коефіцієнт, що залежить від схеми (при зустрічно-паралельному з'єднанні тиристорів $k_c = 2.22$, для симисторів $k_c = 1$), k_o - коефіцієнт, що залежить від умов охолодження (при примусовому охолодженні $k_o = 0.8 - 1.0$, при природному для струмів до 50А прийняти $k_o = 0.5$, для струмів 50-160А прийняти $k_o = 0.4$, для струмів 160-500А прийняти $k_o = 0.3$).

Розрахунок регульовочної характеристики виконати вважаючи навантаження активним (см варіант А), а також для номінального значення $\cos \phi$ використовуючи залежності наведені на рис. 1. Отримані характеристики навести на одному графіці і порівняти.

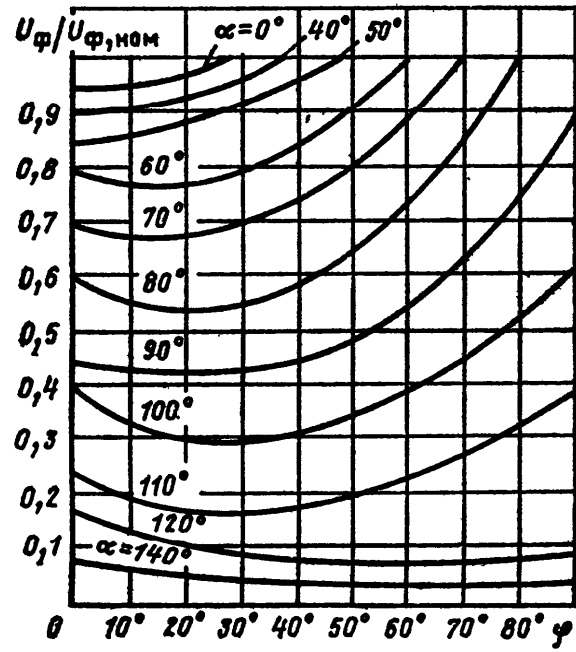


Рис. 1. Залежність діючого значення першої гармоніки вихідної напруги ТПН від кутів φ і α .

ДОДАТОК

Таблиця П.1

Основні співвідношення в ТП за активним навантаженням

Показник	Схема випрямлення		
	Однофазна мостова	Трифазна нульова	Трифазна мостова
Ud	$U_{do}(1+\cos\alpha)/2$	$U_{do}\bullet\cos\alpha, (0 \leq \alpha \leq \pi/6)$ $U_{do}[1+\cos(\pi/6 + \alpha)]/\sqrt{3}, (\pi/6 < \alpha \leq 5\pi/6)$	$U_{do}\bullet\cos\alpha, (0 \leq \alpha \leq \pi/3)$ $U_{do}[1-\sin(\alpha - \pi/6)], (\pi/3 < \alpha \leq 2\pi/3)$
U _{do} / U ₂	0.9	1.17	2.34
U _{обр} /U _{do}	1.57	2.09	1.05
I ₂ /I _d	1.11	0.58	0.82
χ	$\sqrt{[(\pi - \alpha + (\sin 2\alpha)/2)/\pi]}$		
S _T /Pd	1.23	1.35	1.045

Двигуни постійного струму

Таблиця Д.2

№	Тип	Паралельне збудження					
		Р _{ном} , кВт	п _{ном} , об/мин	I _{ном} , А	Р _я + Р _{дп} , Ом	Р _{пар} , Ом	Номінальний струм збудження паралельної обмотки, А
U _{ном} = 220 В							
1	Д-21	4.5	1030	26	0.95	128	1.24
2	Д-41	16	690	86	0.17	70	2.2
3	Д-806	22	650	116	0.1085	65	2.7
4	Д-808	37	575	192	0.054	44.4	3.93
5	Д-810	55	550	282	0.0356	46.2	3.85
6	Д-812	75	515	380	0.0230	34.4	5.1
7	Д-814	110	500	550	0.0805	35.2	6.25
8	Д-816	150	480	745	0.084	24.7	7.44
9	Д-818	185	450	920	0.0066	17.3	10.2
U _{ном} = 440 В							
1	Д-21	4	1220	12	3.54	128	1.24
2	Д-41	15	710	40	0.695	70	2.2
3	Д-808	37	575	96	0.210	44.4	3.93
4	Д-810	55	560	141	0.146	46.2	3.85
5	Д-812	70	520	176	0.099	34.4	5.1
6	Д-814	110	500	280	0.0805	35.2	6.25
7	Д-816	150	490	370	0.0324	24.7	7.44

8	Д-818	185	460	460	0.026	17.3	10.2
---	-------	-----	-----	-----	-------	------	------

Усі двигуни чотирьохполюсні $2p=4$. Перевантаження по струму 2.8 для напруги 220В, 2.25 для напруги 440В.

Трансформатори для ТП

Таблиця Д.3

Тип	S, кВА	U ₂ , В	I _x , А	P _x , кВт	P _к , кВт
ТСЗВ - 40/0.5	51.2	160	3.1	0.3	1.15
ТСЗВ - 63/0.5	73.9	230	4.0	0.36	1.5
ТСЗВ 100/0.5	112.3	350	5.0	0.6	2.1
ТСЗВ 100/0.5	104.4	230	5.5	0.5	2.0
ТСВ 160/0.5	158.9	350	6.0	0.7	2.8

Рекомендована література

1. Методические указания по подготовке к занятиям по электротехническим дисциплинам. Раздел "Основы электроники и преобразовательной техники" / А.А.Шавелкин, С.С.Багдасарян, - Донецк: ДонГТУ, 1999.-104с.
2. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника - К.: ВШ, 1983.- 431 с.
3. Справочник по преобразовательной техники. Под ред. И.М. Чиженко.- К.: Техника, 1978. - 447 с.
4. Замятин В.Я. и др. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник.- М.: Радио и связь, 1988. - 576 с.
5. Электротехнический справочник. Том 2. Электротехнические изделия и устройства.- М.: Энергоатомиздат, 1998.
6. Тиристоры: Справочник / О.П. Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, С.Л. Пожидаев. - М: Радио и связь, 1990. - 272с.
7. Чебовский О.Г., Моисеев Л.Г., Сахаров Ю.В. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник.- М.:Энергия,1985.-400с.
8. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / Под ред. В.М.Перельмутера.- М.: Энергоатомиздат, 1988. - 319с.
9. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
- 10.Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе/ А.Я. Бернштейн, Ю. М. Гусяцкий, А.В. Кудрявцев, Р.С. Сарбатов.- М.:Энергия, 1980.-328с.
- 11.Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод; Справочник.-М.: Энергоатомиздат,1988.-344с.

ЗМІСТ

Вступне лабораторне заняття	3
Лабораторна робота 1. Елементна база силових перетворюючих пристроїв.....	6
Лабораторна робота 2. Дослідження напівпровідникових приладів як комутуючих елементів у силових перетворювачах.....	9
Лабораторна робота 3. Дослідження керованого випрямляча постійного струму	16
Лабораторна робота 4. Дослідження тиристорного перетворювача постійного струму.....	21
Лабораторна робота 5. Дослідження тиристорного регулятора перемінної напруги.....	26
Лабораторна робота 6. Дослідження імпульсного перетворювача постійного струму.....	30
Лабораторна робота 7. Дослідження автономного інвертора струму.....	35
Лабораторна робота 8. Дослідження системи керування тиристорним перетворювачем.....	39
Лабораторна робота 9. Дослідження реверсивного тиристорного перетворювача постійного струму.....	43
Лабораторна робота 10. Дослідження системи ТП-Д.....	49
Лабораторна робота 11. Дослідження системи тиристорний перетворювач частоти - асинхронний двигун (ТПЧ-АД).....	55
РГР 1. Розрахунок тиристорного перетворювача постійного струму.....	63
РГР 2. Розрахунок силового напівпровідникового перетворювального приладу.....	69
ДОДАТОК	78
Рекомендована література	80

