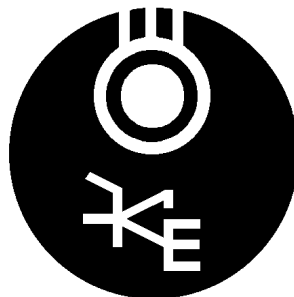


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Державний ВНЗ "НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ"

Кафедра електропривода



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи СПАЕ-9
"Дослідження перетворювача частоти з трифазним автономним
інвертором струму"

з дисципліни

"Силові перетворювачі в автоматизованому електроприводі"

для студентів спеціальності 7.05070204

"Електромеханічні системи автоматизації та електропривод"

Склали проф. М.М.Казачковський,
ас. С.Б.Савченко

Дніпропетровськ
2005

1. МЕТА РОБОТИ

Вивчити принцип дії, особливості електромагнітних процесів та статичних характеристик перетворювача частоти з трифазним автономним інвертором струму комплектного електропривода ЭУАТ.

2. ПРОГРАМА РОБОТИ

- 2.1. Вивчити принцип дії джерела струму на основі індуктивно-ємнісного перетворювача.
- 2.2. Вивчити принцип перетворення автономним інвертором струму (АІС) однополярного вхідного струму на трифазну систему знакозмінних струмів.
- 2.3. Вивчити принцип міжфазної штучної комутації тиристорів АІС.
- 2.4. Дослідити зовнішні та регульовальні характеристики ІЄП та АІС.
- 2.5. Дослідити форму миттєвих струмів та напруг на вході та виході АІС.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Перетворювач частоти комплектного електропривода ЭУАТ складається (рис. 1) із параметричного джерела струму на базі індуктивно-ємнісного перетворювача (ІЄП), некерованого випрямляча на діодах VD7...VD12, дроселя L та автономного інвертора струму (АІС). Перетворювач частоти перетворює електричну енергію живильної мережі з незмінним рівнем частоти та напруги на електричну енергію з регульованими напругою та частотою з метою регулювання швидкості асинхронного двигуна.

3.1. Індуктивно-ємнісний перетворювач

ІЄП є параметричним джерелом струму і складається з конденсаторів C7...C9 та дроселів L7...L9. Принцип дії ІЄП базується на явищі резонансу напруг. Розглянемо роботу ІЄП на прикладі однієї фази (рис.2).

Комплекс вхідного струму ІЄП

$$\dot{I}_{\text{вх}} = \frac{\dot{U}_{\text{вх}}}{Z_{\text{вх}} + \frac{Z_{\text{вих}} Z_0}{Z_{\text{вих}} + Z_0}},$$

де $Z_{\text{вих}}$ – опір навантаження ІЄП; $Z_0 = j\omega L_0$; $Z_{\text{вх}} = 1/j\omega C_{\text{вх}}$ (активним опором дроселя нехтуємо).

Комплекс вихідного струму ІЄП

$$\dot{I}_{\text{вих}} = \frac{\dot{U}_{\text{вих}}}{Z_{\text{вих}}} = \frac{\dot{U}_{\text{вх}} - \dot{I}_{\text{вх}} Z_{\text{вх}}}{Z_{\text{вих}}} = \frac{\dot{U}_{\text{вх}}}{Z_{\text{вх}}} \cdot \frac{1}{\frac{Z_{\text{вих}}}{Z_0} \left(\frac{Z_0}{Z_{\text{вих}}} + 1 \right) + 1}. \quad (1)$$

Якщо реактивні опори дроселя та конденсатора дорівнюють один одному

$$\omega L_0 = 1/\omega C_{\text{вх}}, \quad (2)$$

виникає резонанс напруг, а співвідношення цих опорів $\frac{Z_0}{Z_{\text{BX}}} = \frac{j\omega L_0}{1/j\omega C_{\text{BX}}} = -1$.

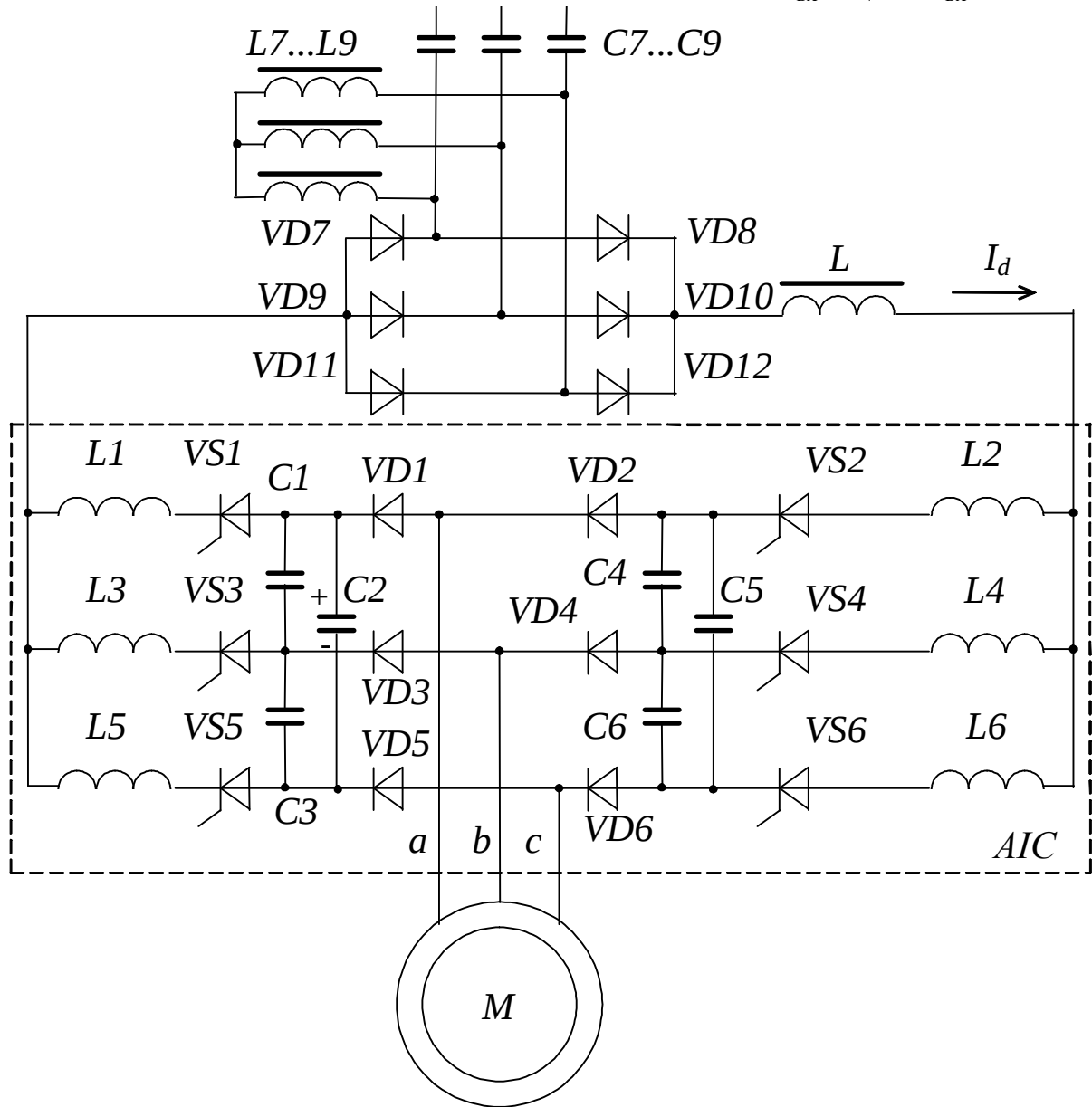


Рис.1

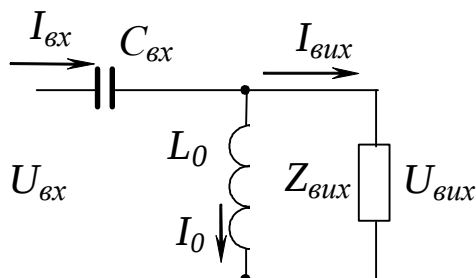


Рис.2

З урахуванням цього вираз (1) отримує вигляд

$$\dot{I}_{\text{ВІХ}} = \frac{\dot{U}_{\text{ВХ}}}{Z_{\text{ВХ}}} = \frac{\dot{U}_{\text{ВХ}}}{1/j\omega C_{\text{ВХ}}}. \quad (3)$$

Таким чином, вихідний струм ІЄП визначається лише його входною напругою та ємністю конденсаторів і не залежить від параметрів тих споживачів, які живляться від ІЄП. Для

споживачів ІЄП є джерелом незмінного за амплітудою синусоїдного струму. Стабілізація вихідного струму можлива завдяки зростанню вихідної напруги зі збільшенням опору навантаження:

$$\dot{U}_{\text{вих}} = \dot{I}_{\text{вих}} Z_{\text{вих}}.$$

Залежність модулів струмів та напруг ІЄП від опору навантаження зображена на рис.3.

Завдяки незалежності вихідного струму від опору навантаження ІЄП його зовнішня характеристика (рис.4) за досить малих опорів навантаження вертикальна і наближена до характеристики ідеального джерела струму. Але зі збільшенням опору навантаження струм I_0 через дросель зростає настільки (див.

рис.3), що останній насичується, зменшується його індуктивність, умова (2) порушується, і ІЄП втрачає властивості джерела струму. Його зовнішня характеристика викривлюється, наближаючись до характеристики джерела напруги (верхня частина рис.4).

Це явище використовується в електроприводі ЕУАТ для того, щоб у режимах пуску та перевантаження (коли ковзання асинхронного двигуна велике, а його зведений до обмотки статора опір малий) здійснювалася стабілізація струму статора з метою його обмеження, а в нормальних режимах (коли ІЄП є джерелом напруги), стабілізувалася напруга, підведена до обмотки статора.

Випрямляч на діодах VD7...VD12 перетворює трифазний синусоїдний струм ІЄП на однополярний струм, який живить АІС. Дросель L згладжує коливання випрямленого струму, ще більше наближаючи властивості ІЄП до властивостей ідеального джерела струму.

3.2. Автономний інвертор струму

АІС призначений для перетворення однополярного струму випрямляча на трифазний знакозмінний струм живлення обмотки статора асинхронного двигуна M . Він складається з шести тиристорів VS1...VS6, шести відсікальних діодів VD1...VD6, комутуючих дроселів $L1...L6$ та конденсаторів $C1...C6$.

На рис.5 зображені діаграма роботи тиристорів та фазні струми на виході інвертора.

У будь-який момент часу відкрито два тиристори: один – із катодної групи (VS1, VS3, VS5), інший – із анодної (VS2, VS4, VS6). Завдяки цьому до джерела струму завжди підключені дві фазні обмотки статора асинхронного двигуна. Діаграми роботи тиристорів періодично повторюються з періодом T . Трива-

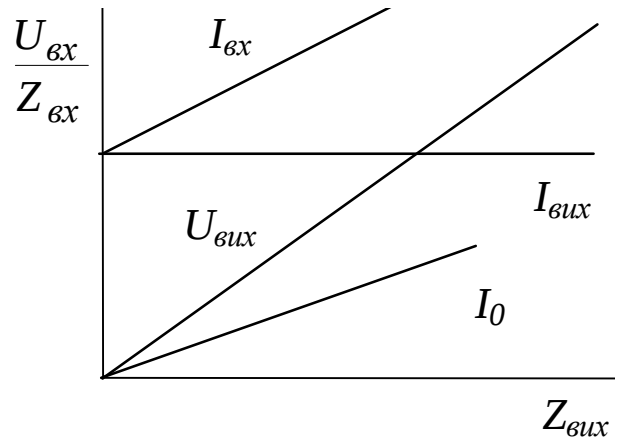


Рис.3

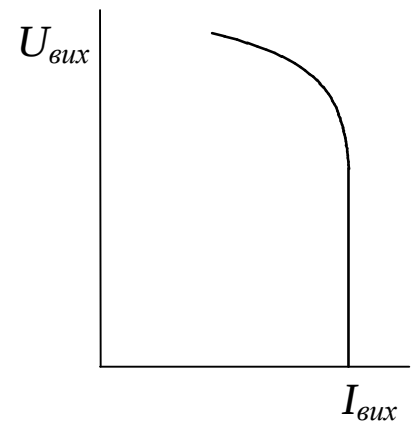


Рис.4

лість відкритого стану кожного тиристора дорівнює $T/3$. Шість разів за період відбувається чергова комутація тиристорів.

На рис.6 наведені схеми, які утворюються за різних сполучень відкритих тиристорів. Римськими цифрами на рис.5 та 6 позначені відповідні міжко-

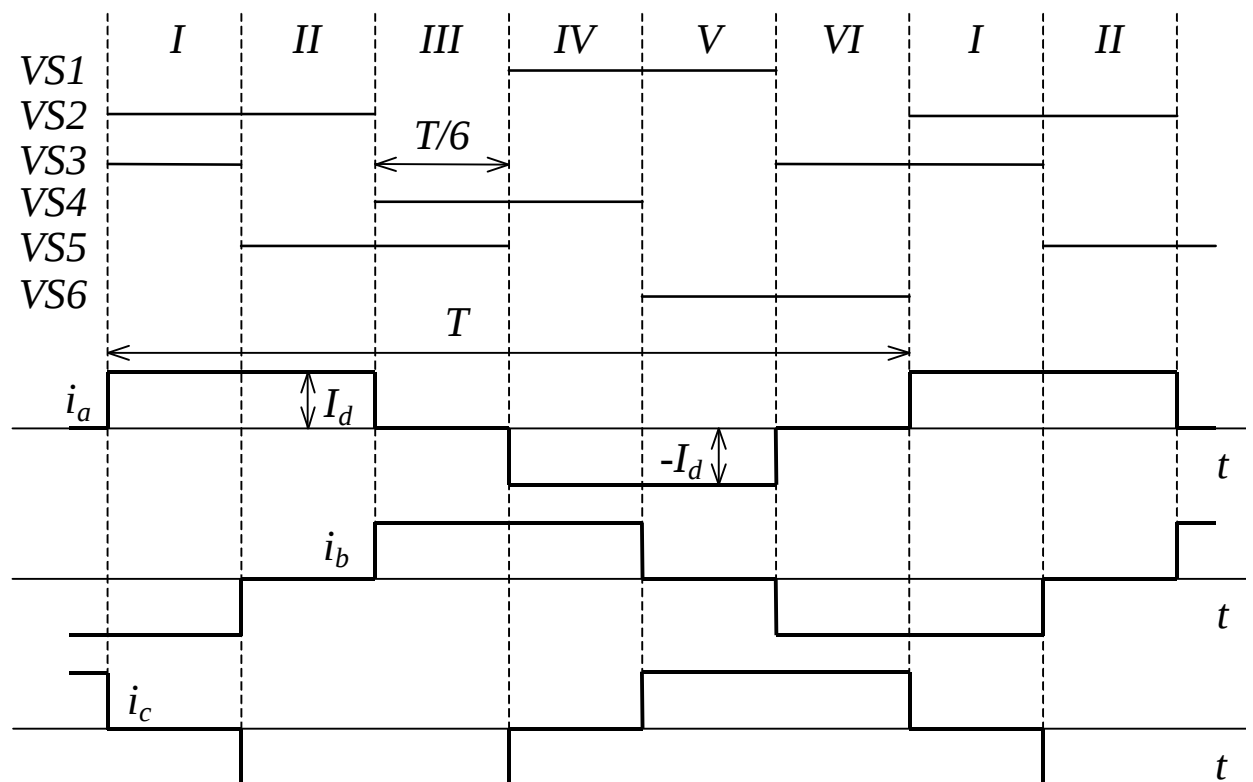


Рис.5

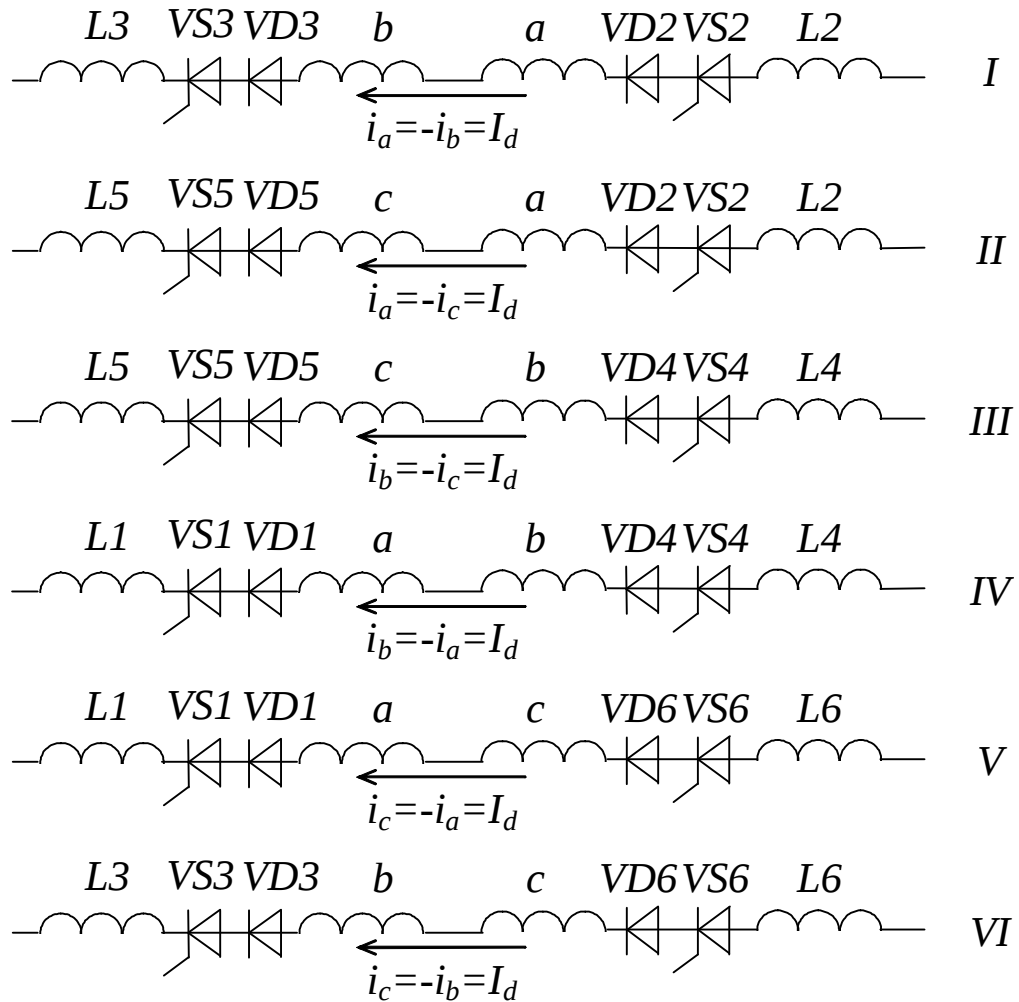


Рис.6

мутаційні інтервали. Завдяки зсуву діаграм перемикання тиристорів різних фаз (наприклад, $VS1$ та $VS3$) на одну третину періоду фазні струми інвертора також зсунуті один відносно одного на третину періоду. Частота зміни фазного струму

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

. Утворена трифазна система струмів забезпечує обертання поля статора двигуна з тією ж частотою. Для зміни вихідної частоти АІС треба змінити частоту перемикання тиристорів, не змінюючи послідовності їх перемикання. Зміна порядку чергування фаз та реверс двигуна забезпечується шляхом зміни діаграми перемикання будь-яких двох фаз (наприклад, тиристири фази A перемикаються за алгоритмом фази B і навпаки).

Для закривання тиристорів у схемі рис.1 використовується міжфазна штучна комутація. Розглянемо для прикладу процес закриття тиристора $VS5$.

Він починається тоді, коли наступний тиристор ($VS1$) отримує керуючий імпульс (початок інтервалу часу IV на рис.5). На одному з попередніх інтервалів (див. інтервал II на рис.5) конденсатор $C2$ був заряджений із полярністю, вказаною на рис.1 (коло заряду: «+» випрямляча – $L2$ – $VS2$ – $VD2$ – $VD1$ – $C2$ – $VS5$ – $L5$ – «-» випрямляча). Струм навантаження на момент початку комутації тече через $L4$, $VS4$, $VD4$, фази b та c статора, $VD5$, $VS5$, $L5$. Діод $VD1$ закритий позитивним потенціалом на катоді з конденсатора $C2$.

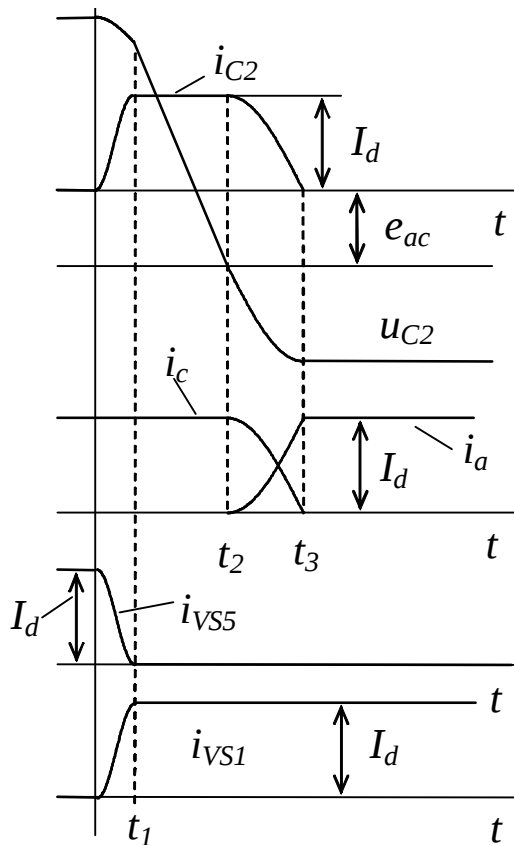


Рис.7

гий.

Відкривається діод $VD1$ і утворюється контур дозаряду конденсатора електромагнітною енергією, накопиченою в індуктивності фази C . До цього контуру входять, окрім конденсатора і діодів $VD1$ та $VD5$, фази C та A статора двигуна (див. рис.8). Процес дозаряду – коливний, оскільки в контурі є і індуктивні, і ємнісні елементи.

Струм фази C у процесі дозаряду зменшується, оскільки проти-ЕРС фази та напруга конденсатора ввімкнені назустріч йому. Струм фази A , навпаки, збільшується таким чином, щоб їх сума дорівнювала струму фази B та вхідному струму АІС ($i_a + i_c = i_b = I_d$). Коли вся електромагнітна енергія фази C переходить до конденсатора (момент t_3 на рис.7), дозаряд закінчується, струм у фазі C зникає, діод $VD5$ закривається, а вхідний струм АІС весь переходить з фази C у фазу A . На міжкомутаційному інтервалі відсікальні діоди запобігають розряду комутуючих конденсаторів через навантаження.

Як тільки тиристор $VS1$ отримує керуючий імпульс, він відкривається, а конденсатор розряджається колом « $C2 - VS1 - L1 - L5 - VS5 - C2$ ». Струм через тиристор $VS5$ знижується, а через $VS1$ – зростає. Дроселі $L1$ та $L5$ обмежують темп зміни струму, захищаючи тиристори від надмірних перенапружень. Як тільки струм розряду конденсатора досягає струму навантаження, сумарний струм через тиристор $VS5$ знижується до нуля і він закривається (момент часу t_1 на рис.7). Струм навантаження цілком переходить на тиристор $VS1$. Конденсатор $C2$ перезаряджається колом «джерело струму – $L4 - VS4 - VD4$ – фази b та c статора – $VD5 - C2 - VS1 - L1$ – джерело струму». Напруга на конденсаторі змінюється лінійно, оскільки струм перезаряду незмінний. Коли напруга на конденсаторі змінює знак і досягає лінійної проти-ЕРС статора $e_{ac} = e_a - e_c$ (момент t_2 на рис.7), закінчується перший етап комутації і розпочинається дру-

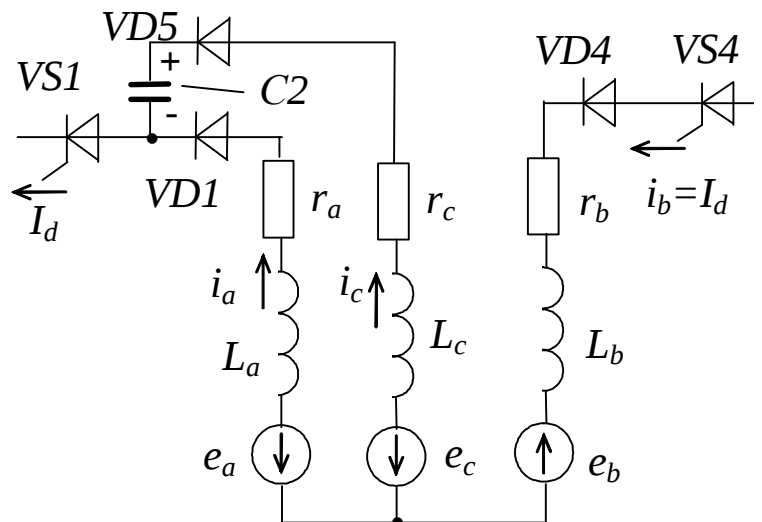


Рис.8

У схемі рис.1 природнім шляхом здійснюється стабілізація співвідношення вихідних напруги та частоти U/f , необхідна для покращення регулювальних властивостей асинхронного двигуна. Зі збільшенням частоти збільшується індуктивний опір двигуна, що призводить до зростання вихідної напруги ІСП (див. рис.3) і АІС.

4. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Схема лабораторної установки зображена на рис.9.

Окрім елементів, які входять до складу комплектного електропривода ЭУАТ, на ній наведені навантажувальна машина постійного струму $M2$, вимірювальні прилади та комутаційна апаратура. Шунти Ш1...Ш4 та гнізда Гн1, Гн2, Гн9...Гн12, Гн16, Гн17 призначені для осцилографування струмів, інші гнізда – для осцилографування напруг на різних елементах схеми. За допомогою потенціометра $R3$ задається вихідна частота АІС. Потенціометр $R2$ призначений для регулювання моменту навантажувальної машини (більшому струму збудження відповідає більший момент).

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1. Вмикання лабораторної установки:

- 5.1.1. Підготувати електропривод до вмикання, перевівши задавач частоти (резистор $R3$) до крайнього лівого положення.
- 5.1.2. Подати живлення до силової частини електропривода, ввімкнувши автоматичний вимикач АВ1 та натиснувши кнопку «Пуск».

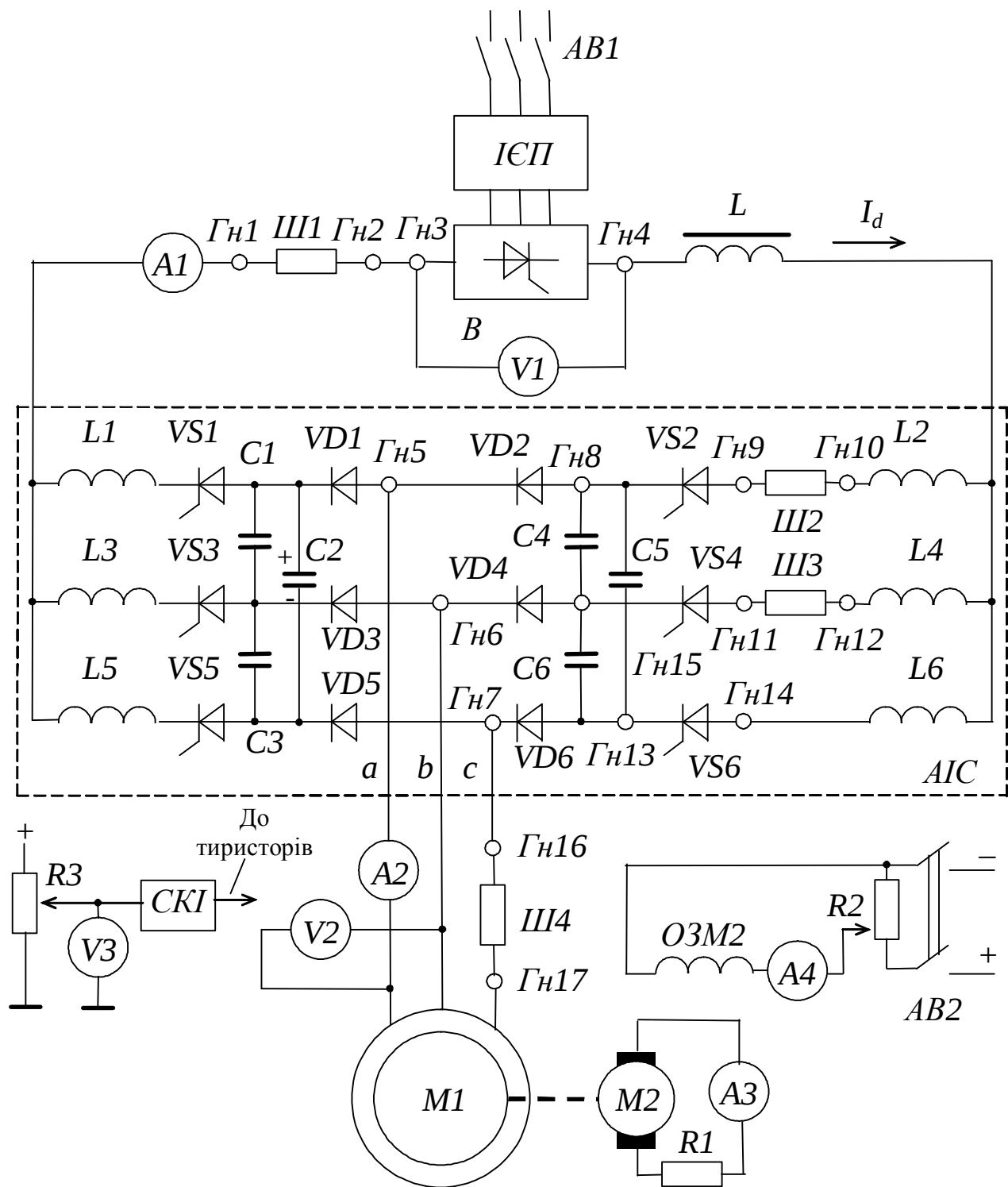


Рис.9

5.2. Зняття регулювальних характеристик:

5.2.1. Збільшуючи задавальну напругу AIC за допомогою резистора $R3$, зняти залежність вихідних напруг ІЄП та AIC від задавальної напруги керування за максимального моменту навантажувальної машини. Результати занести до табл.1.

5.2.2. Зменшивши струм збудження навантажувальної машини до мінімуму, повторити вимірювання п.5.2.1.

5.3. Зняття зовнішніх характеристик:

5.3.1. Встановивши за допомогою резистора R_3 потрібну задавальну напругу, зняти залежності вихідної напруги ІЄП від його вихідного струму та вихідної напруги АІС від його вихідного струму, змінюючи струм збудження навантажувальної машини. Результати вимірювань занести до табл.2.

5.3.2. Встановивши нову задавальну напругу, повторити вимірювання п.5.3.1.

5.4. Осцилографування напруг та струмів:

Змінюючи задавальну напругу та момент навантажувальної машини, зняти зразки осцилограм вхідного струму АІС ($\Gamma_{н1} \dots \Gamma_{н2}$), вхідної напруги ($\Gamma_{н3} \dots \Gamma_{н4}$), вихідного струму ($\Gamma_{н16} \dots \Gamma_{н17}$) та вихідних напруг ($\Gamma_{н5} \dots \Gamma_{н7}$). Звернути увагу на зміну частоти, рівня та форми вимірюваних величин.

5.5. Вимкнути вимикач АВ1.

Таблиця 1

$I_{зб} = \dots mA$	U_K							
	U_d							
	U_{AIC}							
$I_{зб} = \dots mA$	U_K							
	U_d							
	U_{AIC}							

Таблиця 2

$U_K = \dots B$	U_d							
	I_d							
	U_{AIC}							
	I_{AIC}							
$U_K = \dots B$	U_d							
	I_d							
	U_{AIC}							
	I_{AIC}							

6. ЗМІСТ ЗВІТУ

- Номер, назва та програма роботи.
- Схема лабораторної установки.
- Таблиці 1 та 2 з результатами експериментів.
- Зовнішні характеристики ІЄП $U_d = f(I_d)$ та АІС $U_{вих} = f(I_{вих})$.
- Регульовальні характеристики АІС $U_{вих} = f(U_K)$ та $U_d = f(U_K)$.

- Зразки осцилограм вхідного та вихідного струмів АІС, а також напруг на його вході та виході.

7. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 229 с.
2. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Преобразовательная техника. – К.: Вища школа, 1983. – 431 с.
3. Толстов Ю.Г. Автономные инверторы тока. – М.: Энергия, 1978. – 208 с.
4. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе/ А.Я.Бернштейн, Ю.М.Гусяцкий, А.В.Кудрявцев, Р.С.Сарбатов; Под ред. Р.С.Сарбатова. – М.: Энергия, 1980. – 328 с.

8. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Намалюйте схему однофазного ІЄП.
2. Як виглядає зовнішня характеристика ІЄП?
3. Яка умова незалежності вихідного струму ІЄП від опору навантаження?
4. Призначення конденсаторів, діодів, дроселів, які входять до складу АІС.
5. Накресліть ідеалізовану часову діаграму вихідних струмів АІС.
6. З яким запізненням відкривається тиристор $VS3$ відносно тиристора $VS1$?
7. Яку частину періоду вихідного струму АІС відкритий кожний тиристор?
8. Скільки тиристорів одночасно відкрито на міжкомутаційному інтервалі?
9. Як змінити вихідну частоту АІС?
10. Як змінити порядок чергування фаз АІС?
11. Скільки разів за період вихідного струму відбувається комутація тиристорів АІС?
12. Скільки фаз навантаження одночасно підключено до джерела струму на міжкомутаційному інтервалі?
13. Покажіть шлях протікання струму через АІС та навантаження на одному з міжкомутаційних інтервалів.
14. Чому зі зростанням вихідної частоти збільшується і вихідна напруга АІС?
15. Яка умова відкриття відсікального діода під час штучної комутації тиристора?
16. Покажіть контури розряду, перезаряду та дозаряду комутуючого конденсатора $C1$ у процесі штучної комутації.
17. Чому напруга на конденсаторі під час його перезаряду змінюється лінійно в функції часу?
18. З якою полярністю заряджений конденсатор $C1$ перед закриттям тиристора $VS1$?
19. З якою полярністю заряджений конденсатор $C1$ перед закриттям тиристора $VS3$?
20. Що потрібно зробити в лабораторній установці для збільшення моменту навантажувальної машини?