

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
“Моделювання та дослідження електротехнологічних комплексів”
для студентів спеціальності 7.05070207
“Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв”,
денної форми навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “ Моделювання та дослідження електротехнологічних комплексів ” для студентів спеціальності 7.05070207 “Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв”, денної форми навчання / Укл.: М. І. Коцур. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. 34 с.

Укладач: М. І. Коцур, доцент, канд. техн. наук

Рецензент: О. В. Близняков, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск: М. І. Коцур, доцент, канд. техн. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
“Електричні та електронні апарати”

Протокол № 2
від “ 14 “ жовтня 2013

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота № 1 Дослідження трифазного інвертора відомого мережею.....	5
Лабораторна робота № 2 Дослідження однофазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням.....	9
Лабораторна робота № 3 Дослідження однофазного (мостового) інвертора з несиметричним керуванням.....	16
Лабораторна робота № 4 Дослідження трифазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням.....	19
Лабораторна робота № 5 Дослідження трифазного (мостового) інверторного випрямляча.....	24
Лабораторна робота № 6 Дослідження трирівневого інвертора.....	28
Рекомендована література	34

ВСТУП

Силові напівпровідникові перетворювальні пристрої використовуються для перетворення електричного струму й напруги: змінного струму в постійний, постійного струму у змінний, змінного струму та напруги однієї частоти в змінний струм та напругу іншої частоти, низької постійної напруги у високу постійну напругу й ін.

У перетворювальній техніці знаходять широке застосування:

- випрямлячі, що перетворюють одно - або трифазний змінний струм у постійний;

- інвертори, що перетворюють постійний струм в одно - або трифазний струм незмінної або регульованої частоти;

- перетворювачі частоти, що перетворюють одно - і трифазні струми однієї частоти в одно - або трифазні струми іншої частоти - незмінної або регульованої;

- широтно-імпульсні перетворювачі постійної й змінної напруги, що перетворюють постійну або змінну напругу одного рівня в постійне або змінну напругу іншого рівня незмінного або мінливого;

Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах електричного струму, напруги й вивчення законів керування ними - головний зміст курсу “Системи регулювання перетворювальними пристроями обладнання енергоємних виробництв”

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО ІНВЕРТОРА ВІДОМОГО МЕРЕЖЕЮ

Мета роботи : дослідження трифазного двохполуперіодного (мостового) інвертора відомого мережею на віртуальному стенді у середовищі Simulink програмного засобу MatLAB.

1.1. Вказівки до виконання роботи

До виконання лабораторної роботи слід приступитися після вивчення літератури [2,3,4,6].

1.2 Зміст роботи

1.2.1 Вивчення закону імпульсно-фазового керування (СІФК) інвертором відомого мережею.

1.2.2 Дослідження регульовальних і енергетичних характеристик трифазного інвертора, відомого мережею.

1.2.3 Дослідження гармонійного складу струму, генерованого інвертором до мережі.

1.3 Порядок проведення лабораторної роботи

Дослідження регульовальної й енергетичних характеристик відомого мережею інвертора проводиться на віртуальній установці у середовищі Simulink програмного засобу MatLAB(рис. 1.1).

Параметри джерела живлення, навантаження і тиристорного моста наведені у табл.1.3 згідно варіанту.

При знятті характеристик параметри R , L , в колі постійного струму інвертора залишаються без змін, змінюється кут керування від 110 до 160 градусів з кроком 10 град.

Характеристики знімаються для трьох значень е.р.с навантаження 200, 300, 400 В. При цьому моделювання проводиться для кожного значення кута керування та е.р.с. Результати моделювання заносяться до табл. 1.1.

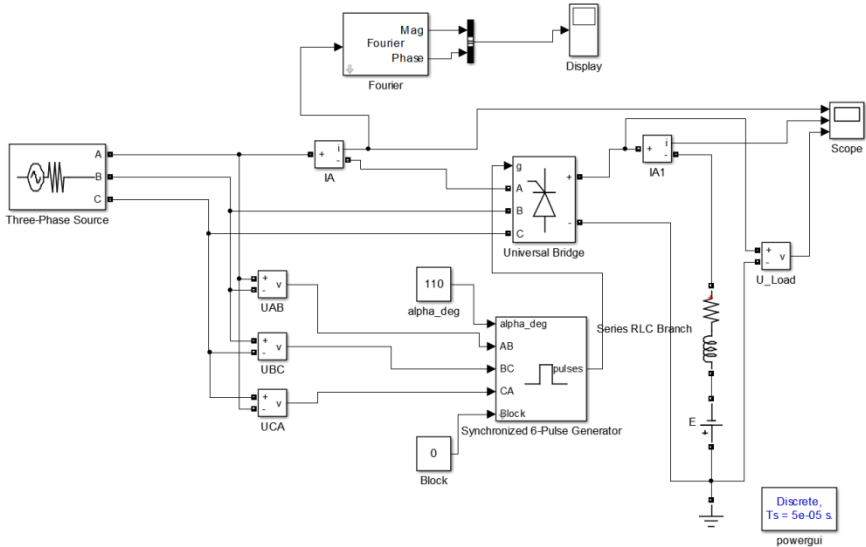


Рисунок 1.1. – Модель тиристорного інвертора відомого мережею

Таблиця 1.1 – Результати розрахунку

Данні		Виміри						Обчислення		
α	E	I_H	U_H	I_1	ϕ_1	U_T	I_T	S_1	P_1	P_H
град	B	A	B	A	град	B	A	BA	Bт	Bт

Амплітуда першої гармоніки в джерелі живлення і початкова фаза цього струму, а також, струм і напруга в колі постійного струму інвертора визначаються за показаннями Display.

У графічному вікні блоку Multimeter спостерігаються і визначаються максимальні напруга і струм тиристора керованого випрямляча.

Повна і активна потужність, що генерується відомим інвертором в мережу змінного струму, розраховуються за виразами

$$S_1 = \frac{U_1 \cdot I_1}{2}, \quad (1.1)$$

$$P_1 = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1}{2} \quad (1.2)$$

Потужність в колі постійного струму визначається за виразом

$$P_H = U_H \cdot I_H \text{ (Вт)}. \quad (1.3)$$

За результатами табл. 1.1 будуються:

- регулювальна характеристика веденого мережею інвертора

$$U_H = f(I_H);$$

- енергетичні характеристики веденого мережею інвертора S_1 ,

$$P_H = f(P_1).$$

Дослідження спектрального складу струму, що генерується інвертором в мережу, здійснюється за одним значенням кута керування (табл.1.2) в пакеті розширення Signal Processing Toolbox.

Для визначення абсолютних значень гармонійних складових в амперах слід скористатися формулою

$$I_1(\vartheta)_{max} = \frac{\vartheta y_u}{y_1} I_{1max} \quad (1.4)$$

де $I_1(\vartheta)_{max}$, - амплітуда струму ϑ -ої гармоніки в амперах; y_1 , y_v - значення першої та ϑ -ої гармоніки.

За результатами вимірювань і розрахунків заповнюється табл. 1.2.

Таблиця 1.2. – Результати вимірювань

Виміри		Обчислення	
α , град	$y_2 \dots y_v$	$I_1(1)$, А	$I_1(2), \dots I_1(v)$, А

1.4. Зміст звіту

1.4.1. Схема віртуальної установки.

1.4.2. Вираз для розрахунку основних характеристик.

1.4.3. Енергетичні характеристики.

1.4.4. Регулювальна характеристика.

Таблиця 1.3 – Варіанти завдання

№ варіанта	E, В	U ₁ , В	R, Ом	L, мГн
1	200, 300, 400	310	0,2	0,5
2			0,1	0,1
3			0,25	1,5
4			0,35	0,9
5			0,4	1,8
6		330	0,52	1,7
7			0,6	0,3
8			0,7	1,1
9			0,85	0,15
10			0,9	0,92
11		260	1,0	0,55
12			1,2	0,96
13			1,5	1,23
14			0,58	1,14
15			0,85	1,45
16			0,63	0,45

1.4.5. Спектральний склад струму в колі змінного струму.

1.4.6. Висновки по роботі.

1.5 Контрольні запитання

1.5.1. Наведіть основні елементи та їх функціональне призначення багатоканальної синхронної системи керування?

1.5.2 Наведіть основні переваги та недоліки багатоканальної та одно каналної синхронної СІФК?

1.5.3. Чому асинхронні СІФК не отримали широкого застосування для керування вентильними перетворювачами?

1.5.4. У чому основна різниця автономних систем керування від синхронних СІФК?

1.5.5. Чим відрізняється "вертикальний" принцип керування від "горизонтального"?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО (МОСТОВОГО) ІНВЕРТОРА З СИМЕТРИЧНИМ КЕРУВАННЯМ

Мета роботи: дослідження однофазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження на віртуальному стенді у середовищі Simulink програмного засобу MatLAB.

2.1. Вказівки до виконання роботи

До виконання лабораторної роботи слід приступити після вивчення літератури [1,2,6].

2.2 Зміст роботи

2.2.1. Дослідження зовнішніх та енергетичних характеристик однофазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

2.2.2. Дослідження регулювальних характеристик однофазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

2.2.3. Дослідження гармонічного складу напруги і струму навантаження однофазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

2.3. Опис віртуальної лабораторної установки

Віртуальна лабораторна установка для досліджень п. 2.2.1 показана на рис. 2.1

Вона містить:

- джерело постійної напруги (240 В);
- активно-індуктивне навантаження (R, L);

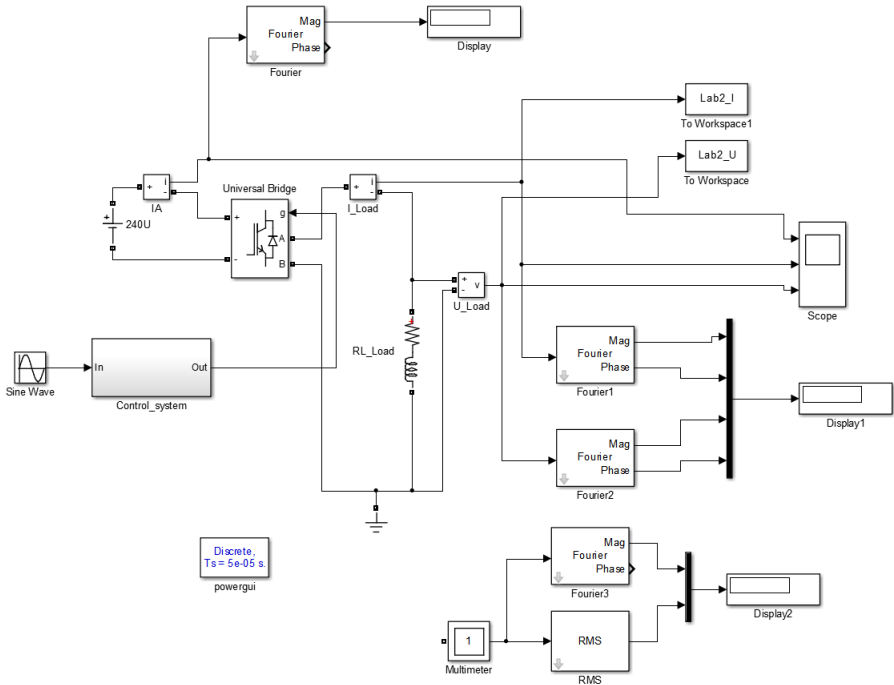


Рисунок 2.1 - Модель однофазного інвертора з симетричним керуванням

- вимірювачі миттєвих струмів в джерелі живлення (I_1) і навантаженні (Load Current);
- вимірювач миттєвого напруги на навантаженні (Load Voltage);
- блок для вимірювання гармонійних складових струму живлення (Fourier);
- блок для вимірювання гармонійних складових струму силового модуля (Fourier 3);
- блок для вимірювання гармонійних складових струму навантаження (Fourier 1) і аналогічний блок для вимірювання гармонійних складових напруги на навантаженні (Fourier 2);
- блок для вимірювання діючого струму силового модуля (RMS);
- блок для спостереження (вимірювання) миттєвих значень струму в колі живлення, струму та напруги навантаження (Scope);

- Multimeter блок для спостереження (вимірювання) миттєвих значень величин, які обрані в полі Measurement відповідних блоків;
- блок для вимірювання середнього значення струму в колі живлення (Display);
- блок для вимірювання амплітудних значень першої гармоніки струму і напруги на навантаженні, а також їх фаз (Display 1);
- блок для вимірювання середнього і діючого значення струму в силовому модулі (Display2);
- однофазний мостовий транзисторний інвертор (Universal Bridge 2arms);
- блоки To Workspace, To Workspace I, призначені для передачі досліджуваних сигналів в робочий простір MatLab з подальшою обробкою пакетом розширення Signal Processing Toolbox для дослідження гармонійного спектру напруги і струму навантаження;
- блок керування (Control system);
- блок завдання модулюючої напруги (Sine Wave).

Параметри однофазного мостового транзисторного інвертора наведені у табл. 2.4 згідно варіанту.

Модель блоку керування наведена на рис. 2.2. Вона містить генератор пилоподібної напруги (ГПН) несучої частоти (блок Repeating Sequence), дві схеми порівняння і два розподільника імпульсів, збирач Мух об'єднує чотири сигналу в один векторний. На вхід In подається синусоїдальна модулююча напруга (рис. 2.1).

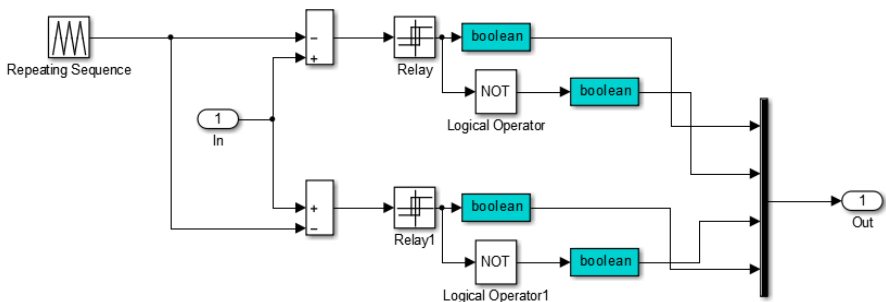


Рисунок 2.2 - Модель блоку керування

Несуча частота f_{sig} та амплітуда сигналу A_{sig} задається у блоку Repeating Sequence згідно заданого варіанту (табл. 2.4)

У вікні налаштування блока Sine Wave задаються амплітуда A_{mod} частота f_{mod} і початкова фаза α_{mod} модулюючої напруги (табл.2.4). На частоту моделюючої напруги, як на основну гармоніку вимірювання, повинні бути налаштовані параметри вимірювальних блоків Fourier та RMS.

2.4 Порядок проведення лабораторної роботи

Дослідження однофазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження п. 2.1 змісту роботи проводиться на віртуальній установці (рис. 2.1), докладний опис якої наведено вище.

При знятті зовнішніх характеристик змінюються параметри R_H , L_H навантаження. Опір R_H змінюється в межах від 10 до 100 Ом. При цьому для кожного значення R_H розраховується величина L_H так, щоб постійна часів навантаження залишалася незмінною, рівної

$T_H = \frac{L_H}{R_H} = 0,01$ с. Моделювання проводиться для кожного значення опору навантаження. Результати моделювання заносяться в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку

Данні		Виміри						Обчислення				
R_H	L_H	I_1	U_H	I_H	$\phi_U\phi_I$	I_T	I_{TRMS}	ϕ_H	S_H	P_1	P_H	P_T
Ом	Гн	А	В	А	град	А	А	град	ВА	Вт	Вт	Вт

Амплітуди перших гармонік струму і напруги навантаження та їх початкові фази визначаються за показаннями Display1, середній струм у джерелі живлення визначається за показаннями Display. Миттєві значення цих величин можна спостерігати на екрані осцилоскопа. Середній та діючий струми в силовому напівпровідниковому модулі визначаються за показаннями Display2.

У графічному вікні блоку Multimeter спостерігаються максимальні напруга і струм силового модуля.

Зсув по фазі між першою гармонікою струму і напруги навантаження розраховується за формулою

$$\Phi_H = \Phi_U - \Phi_I. \quad (2.1)$$

Повна і активна потужність по першій гармоніці визначається за виразами

$$S_H(1) = \frac{U(1)_H I_H(1)}{2} \quad (2.2)$$

$$P_H(1) = \frac{U_H(1) I_H(1) \cos \varphi_H}{2} \quad (2.3)$$

Потужність, споживана від джерела живлення, визначається за виразом:

$$P_1 = U_1 I_1 \quad (2.4)$$

Втрати в силовому напівпровідниковому модулі визначаються за виразом

$$P_T = \left[m V_f + (1 - m) V_{fd} \frac{\cos \varphi - 1}{\cos \varphi + 1} \right] I_T + R_{0n} [I_T(RMS)]^2, \quad (2.5)$$

де V_f , V_{fd} , R_{0n} - параметри силового модуля; I_T , $I_T(RMS)$ - середній та діючий струми силового модуля

Коефіцієнт модуляції напруги визначається за формулою

$$m = \frac{U_{\text{мод}}}{U_{\text{ГПН}}},$$

де $U_{\text{мод}}$ - амплітуда модулюючого синусоїдальної напруги, $U_{\text{ГПН}}$ - амплітуда напруги ГПН.

За результатами табл. 2.1 будуються:

- зовнішня (навантажувальна) характеристика інвертора $U_H = f(P_H)$;

- енергетичні характеристики I_1 , I_T , $I_T(RMS) = f(I_H)$;

- енергетичні характеристики інвертора $S_1(I)$, $P_1(I)$, $P_T = f(P_H)$;

Дослідження регулювальної характеристик, інвертора за п. 2.2.2 змісту лабораторної роботи здійснюється на моделі при одному значенні опору навантаження (задається викладачем) і зміні амплітуди модулюючого напруги від 0 до 2 В. з кроком 0,5 В. Моделювання здійснюється при кожному значенні моделюючої напруги, при цьому заповнюється табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Результати виміру для дослідження регулювальної характеристики

Виміри	
U_{max} (В)	U_H (В)

За даними таблиці будувався регулювальна характеристика $U_H = f(U_{mod})$.

Дослідження спектрального складу напруги і струму навантаження інвертора здійснюється при одному значенні напруги, що модулює (задається викладачем) в пакеті розширення Signal Processing Toolbox.

Для визначення абсолютних значень гармонійних складових у вольтах і амперах слід скористатися формулами:

$$U_H(\vartheta)_{max} = \frac{\vartheta y_u}{y_1} U_H(1)_{max} \quad (2.6)$$

$$I_H(\vartheta)_{max} = \frac{\vartheta y_u}{y_1} I_H(1)_{max} \quad (2.7)$$

де $U_H(1)_{max}$, $I_H(1)_{max}$ - амплітуди перших гармонік напруги та струму навантаження.

За результатами вимірювань і розрахунків заповнюється табл. 2.3

Таблиця 2.3 Результати дослідження спектрального складу

Виміри				Обчислення	
$U_H(1)$, В	$y_2 \dots y_v$	$I_H(1)$, А	$y_2 \dots y_v$	$U_H(2) \dots U_H(V)$, В	$I_H(2) \dots I_H(V)$, А

Таблиця 2.4 – Варіанти завдання

№ варіанта	U_1 , В	R, Ом	L, мГн	f_{sig} , Гц	A_{sig} , В	f_{mod} , Гц	A_{mod} , В	α_{mod} , град
1	240	0,2	0,5	500	2	25	1	0
2	240	0,15	0,5	500	2	25	1	10
3	240	0,1	0,5	500	2	25	1	15
4	240	0,5	1,0	500	2	25	1	20
5	240	2,5	1,0	500	2	25	1,5	25
6	260	2,6	1,5	500	1	25	0,8	30
7	260	2,7	1,5	500	1	25	0,8	0
8	260	1,5	2,0	500	1	25	0,5	10
9	260	2,5	3,0	600	1	50	0,5	15
10	260	3,5	5,0	600	5	50	2	20
11	310	5	0,1	600	5	50	2	25
12	310	10,1	0,8	600	5	50	4	30
13	310	2,2	0,12	1200	5	100	4	0
14	310	6,5	0,6	1200	5	100	2	10
15	310	4,5	0,7	300	5	10	4,5	15
16	330	1,5	0,8	300	5	10	4	20

2.5 Зміст звіту

2.5.1. Схема віртуальної установки.

2.5.2. Вирази для розрахунку основних характеристик.

2.5.3. Навантажувальна характеристика інвертора.

2.5.4. Енергетичні характеристики інвертора.

2.5.5. Регулювальна характеристика інвертора.

2.5.6. Спектральний склад напруги і струму навантаження.

2.5.7. Висновки по роботі.

2.6 Контрольні запитання

2.6.1. Надайте визначення коефіцієнта модуляції?

2.6.2. Особливості роботи перетворювача з ШПР модуляцією?

2.6.3. Чим відрізняється ШПР від ШІМ модуляції?

2.6.4. Наведіть особливості режиму перемодуляції системи керування АІН?

2.6.5. Наведіть та надайте аналіз регулювальним характеристикам однофазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО (МОСТОВОГО) ІНВЕРТОРА З НЕСИМЕТРИЧНИМ КЕРУВАННЯМ

Мета роботи: дослідження однофазного (мостового) інвертора з несиметричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження на віртуальному стенді у середовищі Simulink програмного засобу MatLAB.

3.1. Вказівки до виконання роботи

До виконання лабораторної роботи слід приступити після вивчення рекомендованої літератури [1, 2, 4, 5, 6, 8].

3.2. Зміст роботи

3.2.1. Дослідження зовнішніх та енергетичних характеристик однофазного (мостового) інвертора з несиметричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

3.2.2. Дослідження регулювальних характеристик однофазного (мостового) інвертора з несиметричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

3.2.3. Дослідження гармонічного складу напруги та струму навантаження однофазного (мостового) інвертора з несиметричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

3.3. Опис віртуальної лабораторної установки

Віртуальна лабораторна установка для досліджень з п. 3.2 показана на рис. 3.1. Вона повністю ідентична моделі, описаній у лабораторній роботі № 2. Відмінність полягає лише в блоці керування інвертором (блок Control System, рис. 3.2).

Параметри блоків, що входять до моделі ідентичні параметрам наведених у лабораторній роботі. № 2.

Параметри блоку керування, відповідно до індивідуального завдання наведені у табл. 2.4.

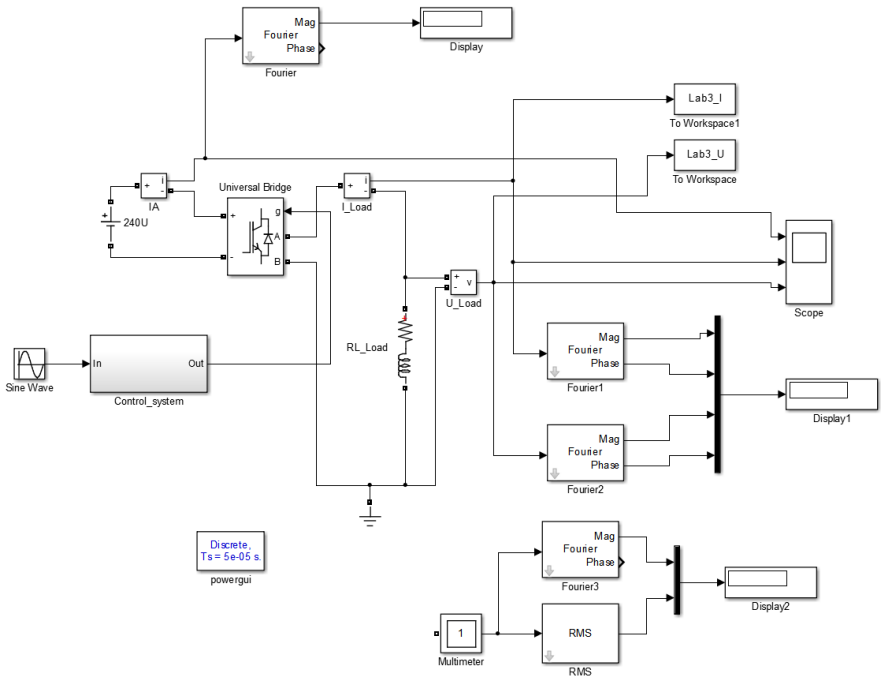


Рисунок 3.1. - Модель однофазного інвертора з несиметричним керуванням

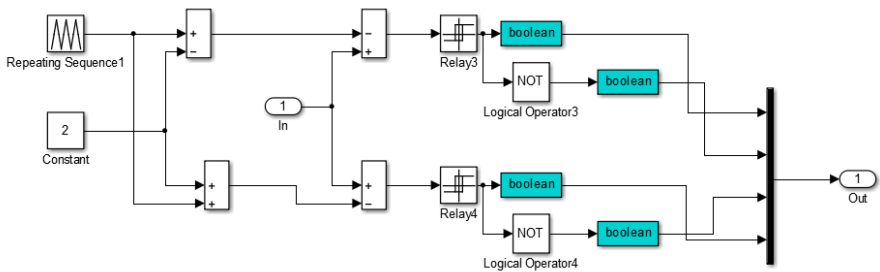


Рисунок 3.2. - Модель несиметричного керування інвертором

3.4. Порядок проведення лабораторної роботи

Дослідження однофазного (мостового) інвертора з несиметричним керуванням, з синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження за п. 3.2.1, п.3.2.2, п.3.2.3. повністю відповідають змісту роботи лабораторної роботи № 2.

Результати моделювання при знятті зовнішніх, регулювальних характеристик та дослідження гармонічного складу напруги та струму навантаження відповідно заносяться до таблиць 2.1, 2.2. 2.3.

3.5. Зміст звіту

3.5.1 Схема віртуальної установці.

3.5.2 Вирази для розрахунку основних характеристик.

3.5.3 Навантажувальна характеристика інвертора.

3.5.4 Енергетичні характеристики інвертора.

3.5.5 Регулювальна характеристика інвертора.

3.5.6 Спектральний склад напруги і струму навантаження.

3.5.7 Висновки по роботі.

3.6. Контрольні запитання

3.6.1. Чим відрізняється ШІР від ШІМ модуляції?

3.6.2. Чим відрізняється симетричне керування від не симетричного АІН?

3.6.3. Наведіть та надайте аналіз регулювальним характеристикам однофазного (мостового) інвертора з не симетричним керуванням?

3.6.4. Надайте порівняння регулювальним характеристикам однофазного (мостового) інвертора з симетричним та не симетричним керуванням?

3.6.5. Наведіть та надайте аналіз гармонійного складу напруги та струму навантаження однофазного (мостового) інвертора з не симетричним керуванням?

3.6.6. Надайте порівняння гармонійного складу напруги та струму навантаження однофазного (мостового) інвертора з симетричним та не симетричним керуванням?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО (МОСТОВОГО) ІНВЕРТОРА З СИМЕТРИЧНИМ КЕРУВАННЯМ

Мета роботи: дослідження трифазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження на віртуальному стенді у середовищі Simulink програмного засобу MatLAB.

4.1. Вказівки до виконання роботи

До виконання лабораторної роботи слід приступити після вивчення рекомендованої літератури [1, 2, 4-6].

4.2. Зміст роботи

4.2.1 Дослідження зовнішніх та енергетичних характеристик трифазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

4.2.2 Дослідження регулювальних характеристик трифазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

4.2.3 Дослідження гармонічного складу напруги та струму на навантаженні трифазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

4.3. Опис віртуальної лабораторної установки

Віртуальна лабораторна установка для досліджень за п. 4.2.1 показана на рис. 4.1.

Модель блоку керування зображено на рис. 4.2. Це бібліотечний блок з бібліотеки SimPowersystems У першому полі вікна налаштування параметрів встановлюється тип силового блоку, що підлягає керуванню. У другому полі - несуча частота, в третьому полі - коефі-

ціент модуляції, в четвертому полі - частота модулюючої напруги і в останньому полі - початкова фаза модулюючої напруги.

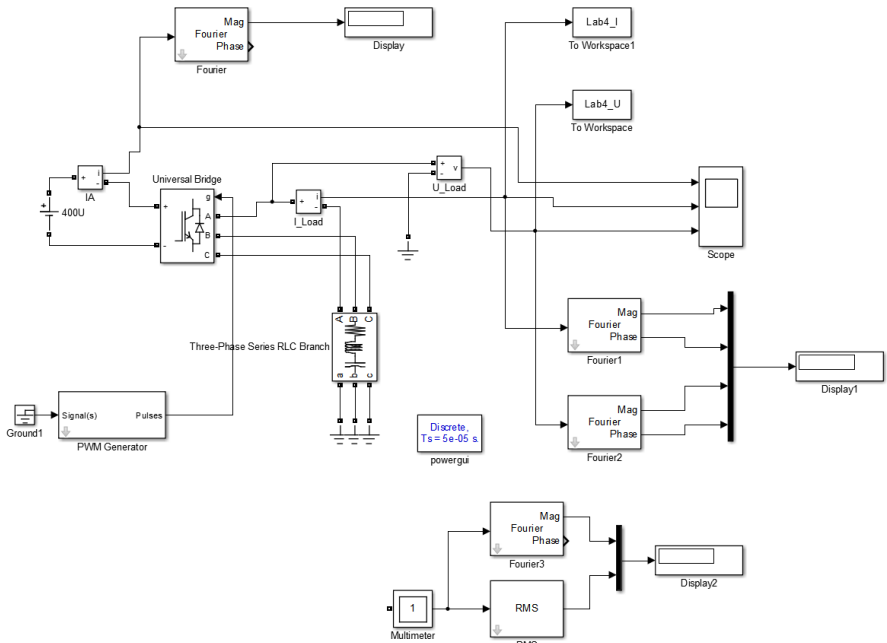


Рисунок 4.1 – Модель трифазного інвертора

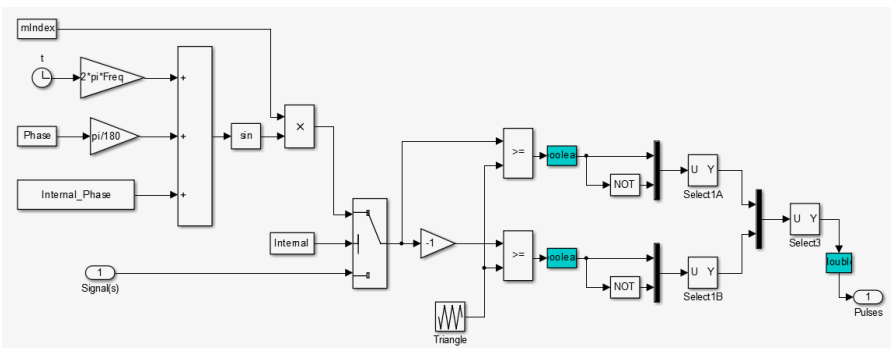


Рисунок 4.2 – Модель блоку керування трифазним інвертором

Всі інші блоки і їх параметри описані, та наведені у лабораторній роботі № 2.

4.4. Порядок проведення лабораторної роботи

Дослідження трифазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження п. 4.2 змісту роботи проводиться на віртуальній установці (рис. 4.1), докладний опис якої наведено вище.

Параметри джерела живлення, трифазного мостового транзисторного інвертора і його блоку управління задаються з табл.2.4.

При знятті зовнішніх та енергетичних характеристик змінюються параметри R_H , L_H навантаження. Опір R_H змінюється в межах від 10 до 100 Ом. При цьому для кожного значення R_H розраховується величина L_H так, щоб постійна часів навантаження залишалася незмінною та рівної $T_H = \frac{L_H}{R_H} = 0,01$ с. Моделювання проводиться для кожного значення опору навантаження. Результати моделювання заносяться до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку

Данні		Виміри						Обчислення				
R_H	L_H	I_1	U_H	I_H	$\varphi_{U\varphi I}$	I_T	I_{TRMS}	φ_H	S_H	P_1	P_H	P_T
Ом	Гн	А	В	А	град	А	А	град	В	В	Вт	Вт
								д	А	т	Вт	т

Зсув по фазі між першою гармонікою струму і напруги на навантаженні розраховується за формулою (2.1)

Повна і активна потужність по першій гармоніці в навантаженні визначається за виразами

$$S_H(1) = \frac{3U_H(1) I_H(1)}{2} \quad (4.1)$$

$$P_H(1) = \frac{3U_H(1) I(1)\cos\varphi_H}{2} \quad (4.2)$$

Потужність, споживана від джерела живлення, визначається за виразом (2.4) Втрати в силовому напівпровідниковому модулі визначаються за формулою (2.5).

Коефіцієнт модуляції напруги на навантаженні задається у вікні настройки блоку керування (рис.4.2).

За результатами табл. 4.1 будуються:

- зовнішня (навантажувальна) характеристика інвертора $U_H = f(P_H)$;

- енергетичні характеристики $I_1, I_T, I_T(RMS) = f(I_H)$;

- енергетичні характеристики інвертора $S_1(I), P_1(I), P_T = f(P_H)$;

Дослідження регульовальної характеристик, інвертора за п. 4.2.2 здійснюється при одному значенні опору навантаження і зміні амплітуди модулюючої напруги від 0 до 2 В. з кроком 0,2. Моделювання здійснюється при кожному значенні коефіцієнта модуляції, при цьому заповнюється табл. 4.2.

Таблиця. 4.2 – Результати виміру для дослідження регульовальної характеристики

Виміри	
m	U_H (В)

За даними таблиці будувався регульовальна характеристика $U_H = f(U_{\text{мод}})$.

Дослідження спектрального складу напруги і струму навантаження інвертора здійснюється при двох значеннях коефіцієнта модуляції $m < 1, m > 1$ (згідно індивідуального варіанту табл.4.4) в пакеті розширення Signal Processing Toolbox.

Для визначення абсолютних значень гармонійних складових необхідно скористатися формулами (2.6) та (2.7).

За результатами вимірювань і розрахунків заповнюється табл. 4.3.

4.5. Зміст звіту

4.5.1. Схема віртуальної установці.

4.5.2. Вирази для розрахунку основних характеристик.

4.5.3. Навантажувальна характеристика інвертора.

Таблиця 4.3 Результати дослідження спектрального складу

Виміри				Обчислення	
$U_H(1)_{\max}$ (B)	$y_2 \dots y_v$	$I_H(1)_{\max}$ (A)	$y_2 \dots y_v$	$U_H(2)_{\max} \dots U_H(V)_{\max}$ (B)	$I_H(2)_{\max} \dots I_H(V)_{\max}$ (A)

Таблиця 4.4 Варіанти завдання з вибору коефіцієнта модуляції

№ варіанта	$m < 1$	$m > 1$	№ варіанта	$m < 1$	$m > 1$
1	0,1	1,2	9	0,7	1,1
2	0,15	1,6	10	0,8	1,3
3	0,2	1,4	11	0,9	1,5
4	0,3	1,9	12	0,65	1,7
5	0,25	2,0	13	0,85	1,8
6	0,4	2,5	14	0,95	2,1
7	0,35	2,4	15	0,75	2,3
8	0,6	2,6	16	0,45	2,2

4.5.4. Енергетичні характеристики інвертора.

4.5.5. Регульовальна характеристика інвертора.

4.5.6. Спектральний склад напруги і струму навантаження.

4.5.7. Висновки по роботі.

4.6. Контрольні запитання

4.6.1. Наведіть регулюючі параметри вихідної напруги трифазного (мостового) інвертора з симетричним керуванням?

4.6.2. Поясніть сутність алгоритму одиночного переключення вентелів АІН?

4.6.3. Поясніть сутність алгоритму групового переключення вентелів АІН?

4.6.4. Надайте аналіз енергетичних характеристик трифазного інвертора?

4.6.5. Надайте аналіз регульовальних характеристик трифазного інвертора?

4.6.6. Надайте аналіз спектрального складу напруги і струму навантаження трифазного інвертора?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО (МОСТОВОГО) ІНВЕРТОРНОГО ВИПРЯМЛЯЧА

Мета роботи: дослідження трифазного (мостового) інвертора з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-емнісне навантаження в режимі випрямлення на віртуальному стенді у середовищі Simulink програмного засобу MatLAB.

5.1. Вказівки до виконання роботи

До виконання лабораторної роботи слід приступити після вивчення рекомендованої літератури [2, 4, 5, 6, 8].

5.2. Зміст роботи

5.2.1. Дослідження енергетичних характеристик трифазного (мостового) інвертора з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-емнісне навантаження в режимі випрямлення.

5.2.2. Дослідження зміни характеру навантаження для джерела змінного струму.

5.3. Опис віртуальної лабораторної установки

Віртуальна лабораторна установка для досліджень з п. 5.2 показана на рис. 5.1. Всі блоки, що входять в модель, описані раніше.

5.4. Порядок проведення лабораторної роботи

Дослідження трифазного (мостового) інвертора з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-емнісне навантаження в режимі випрямляча за п. 5.2.1 змісту роботи проводиться на віртуальній установці (рис. 5.1.). Параметри всіх блоків і навантаження задаються згідно заданого варіанту (табл. 2.4)

При знятті зовнішніх характеристик змінюються параметри R_H C_H навантаження. Опір R_H змінюється в межах від 10 до 100 Ом.

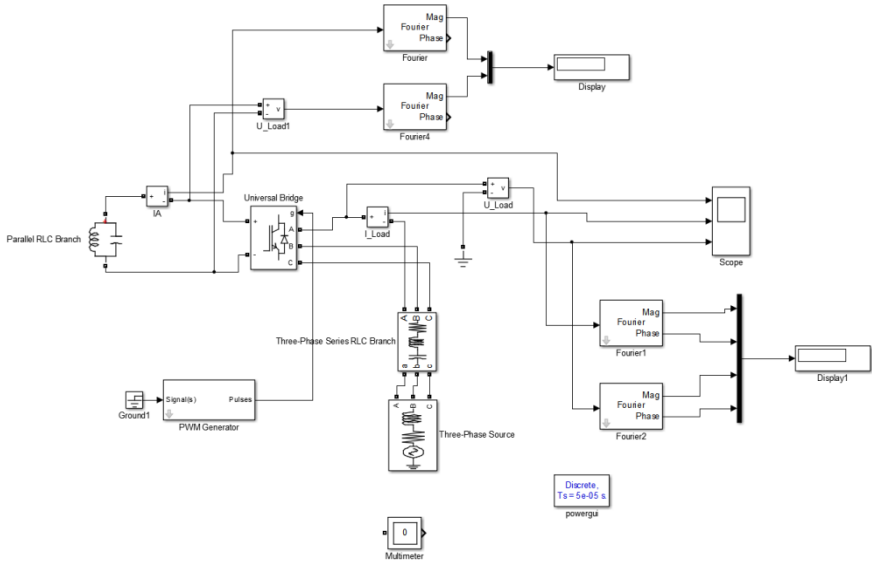


Рисунок 5.1 - Модель трифазного інвертора в режимі випрямлення

При цьому дня кожного значення R_H розраховується величина C_H так, щоб постійна часів навантаження залишалася незмінною, рівної $T_H = R_H \cdot C_H = 0.01$ с. Моделювання проводиться для кожного значення опору навантаження і трьох значень фази модулюючого напруги: -10 ; -30 ; -50 град. Результат моделювання заносяться в табл. 5.1.

Таблиця. 5.1 – Результати розрахунку

Данні			Виміри					Обчислення			
R_H	C_H	$\varphi_{\text{мод}}$	$I_1(I)$	U_1	φ	$I(0)$	$U(0)$	T_H	$S(I)$	P_1	$P_H(0)$
Ом	Гн	град	А	В	град	А	В	с	ВА	Вт	Вт

Амплітуди перших гармонік струму і напруги на затискачах А, В, С змінного струму інвертора, а також фаза струму щодо напруги джерела визначаються за показаннями Display 1, середній струм в навантаженні і середня напруга на навантаженні визначаються за показаннями Display. Миттєві значення струму в навантаженні, напруга і струм інвертора можна спостерігати на екрані осцилоскопа Scope.

У графічному вікні блоку Multimeter спостерігаються максимальні напруга і струм силового модуля.

Повна і активна потужність по першій гармоніці в колі змінного струму інвертора визначаються відповідно за формулами (4.1), (4.2).

Потужність на навантаженні (в колі постійного струму інвертора) визначається як

$$P(0) = U(0) \cdot I(0) \quad (5.1)$$

За результатами табл. 5.1 будуються енергетичні характеристики інвертора $S_1(I)$, $P_1(I) = f(P_H)$.

Дослідження характеру навантаження, яку представляє інвертор, що працює в режимі випрямлення для джерела змінного струму за п. 5.2.2 проводиться на віртуальній установці (рис. 5.1). При цьому параметри навантаження і фаза модулюючого напруги залишаються постійними (згідно індивідуального завдання). Змінюється коефіцієнт модуляції від 0,2 до 1,0 з кроком 0,2. Для кожного значення коефіцієнта модуляції здійснюється моделювання. Результати моделювання заносяться в табл. 5.2. За даними таблиці для кожного значення m будується векторна діаграма і визначається фаза реактивної складової струму щодо напруги джерела змінного струму.

Таблиця 5.2 – Результати виміру

Данні	Виміри				
m	$I_1(I)$	U_1	φ_1	$I(0)$	$U(0)$
	А	В	град	А	В

5.5. Зміст звіту

5.5.1 Схема віртуальної установці.

5.5.2 Вирази для розрахунку основних характеристик.

5.5.3 Енергетичні характеристики інвертора.

5.5.4 Векторні діаграми

5.5.5 Висновки по роботі.

5.6. Контрольні запитання

5.6.1. Наведіть умови роботи трифазного інвертора з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-ємнісне навантаження в режимі випрямлення?

5.6.2. Побудуйте векторну діаграму трифазного інвертора в режимі випрямлення?

5.6.3. Наведіть основні характеристики інвертора?

5.6.4. Надайте аналіз енергетичних характеристик трифазного інвертора з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-ємнісне навантаження в режимі випрямлення?

5.6.5. Як змінюються енергетичні характеристики при зміні характеру навантаження для джерела змінного струму?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИРІВНЕВОГО ІНВЕРТОРА

Мета роботи: дослідження трирівневого інвертора з симетричним керуванням і синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження на віртуальному стенді у середовищі Simulink програмного засобу MatLAB..

6.1. Вказівки до виконання роботи

До виконання лабораторної роботи слід приступити після вивчення рекомендованої літератури [1, 2, 4-6, 8].

6.2. Зміст роботи

6.2.1 Дослідження коефіцієнта гармонік вихідного струму і напруги одноплечевого трирівневого інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

6.2.2 Дослідження коефіцієнта гармонік вихідного струму і напруги трехфазного трирівневого інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження.

6.3. Опис віртуальної лабораторної установки

Віртуальна лабораторна установка для досліджень з п. 6.2.1 наведена на рис. 6.1, рис. 6.2.

Вона містить

- два джерела постійної напруги з загальною точкою;
- два фіксуючих діода (VD1-VD2);
- чотири силових напівпровідникових модуля (VT1-VT4);
- активно-індуктивне навантаження (R, L);
- вимірювач миттєвого струму навантаження (I Load);
- вимірювач миттєвої напруги на навантаженні (U Load);
- блок для вимірювання коефіцієнта гармонік струму навантаження (THD I) і аналогічний блок для вимірювання коефіцієнта;

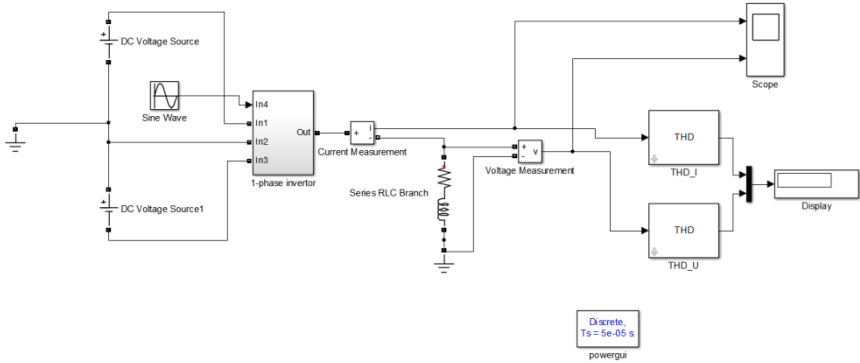


Рисунок 6.1 - Модель однофазного тривіневого інвертора

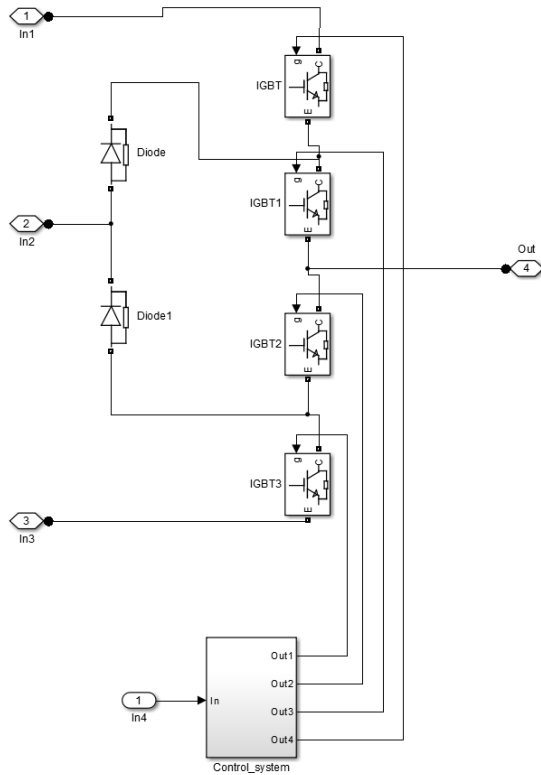


Рисунок 6.2 - Підсистема моделі однофазного тривіневого інвертора

- гармонік напруги на навантаженні (THD U);
- виміррювач миттєвого напруги на навантаженні (U Load);
- блок для виміррювання коефіцієнта гармонік струму навантаження (THD I) і аналогічний блок для виміррювання коефіцієнта гармонік напруги навантаження (THD U);
- блок для спостереження (виміррювання) миттєвих значень струму та напруги навантаження (Score);
- блок для виміррювання значень коефіцієнтів гармонік струму і напруги навантаження (Display);
- блок керування інвертором (Control System);
- блок завдання вхідної (модулюючої) напруги (Sine Wave).

На відміну від попередніх робіт тут новими є блок керування і блоки, що вимірюють коефіцієнти гармонік.

Модель блоку керування наведено на рис. 6.3.

Несуча частота f_{sig} та амплітуда сигналу A_{sig} задається у блоку Repeating Sequence згідно заданого варіанту (табл. 2.4)

У вікні налаштування блоку Sine Wave задаються амплітуда A_{mod} частота f_{mod} і початкова фаза α_{mod} модулюючої напруги (табл. 2.4).

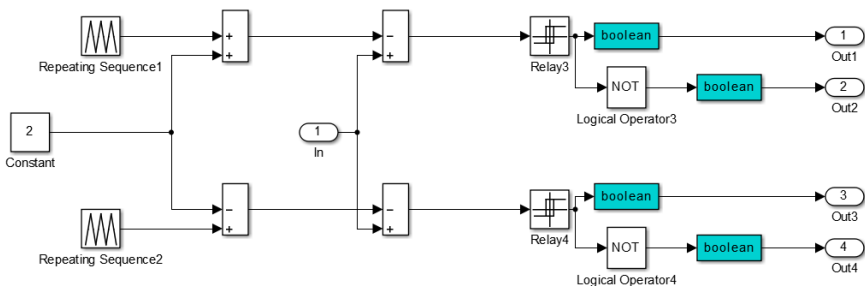


Рисунок 6.3 - Модель блоку керування однофазним тривірневим інвертором

6.4. Порядок проведення лабораторної роботи

6.4.1. Дослідження однофазного тривірневого інвертора

Дослідження одноплечевого тривірневого інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження за п. 6.2.1 змісту ро-

боти проводиться на віртуальній установці (рис.6.1). Параметри джерела живлення, силових модулів інвертора і його блоку керування задаються згідно з індивідуальним завданням.

Дослідження коефіцієнта гармонік здійснюється при зміні опору навантаження R_H при незмінній індуктивності навантаження $L_H = 0.01$ Гн. Опір R_H змінюється в межах від 10 до 100 Ом. При цьому для кожного значення R_H розраховується постійна часу навантаження

$$T_H = \frac{L_H}{R_H}.$$

Моделювання проводиться для кожного значення опору навантаження. Результати моделювання заносяться до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати виміру коефіцієнта гармонік

Данні	Виміри		Обчислення
R_H (Ом)	THD I	THD U	T_H (с)

За результатами табл. 6.1 будуються залежності THD I, THD U = f(T_H).

6.4.2. Дослідження трифазного тривіневого інвертора

Дослідження коефіцієнта гармонік вихідного струму і напруги трифазного тривіневого інвертора з симетричним керуванням, з синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією при роботі на активно-індуктивне навантаження за п. 6.2.2 проводиться на моделі, наведеної на рис. 6.4.

Трифазний мостовий інвертор складається з трьох одноплечевих, розглянутих вище. Зміст блоку Subsystem показано на рис. 6.2. Керування блоками здійснюється від трьох модулюючих напруг, зсунутих по фазі на 120 град. (Блоки Sine Wave, Sine Wave1, Sine Wave2).

Дослідження коефіцієнта гармонік здійснюється при зміні одночасно трьох опорів навантаження R_H і незмінних індуктивностях навантаження $L_H = 0,01$ Гн. Опір R_H змінюється в межах від 10 до 100 Ом. При цьому для кожного значення R_H розраховується постійна

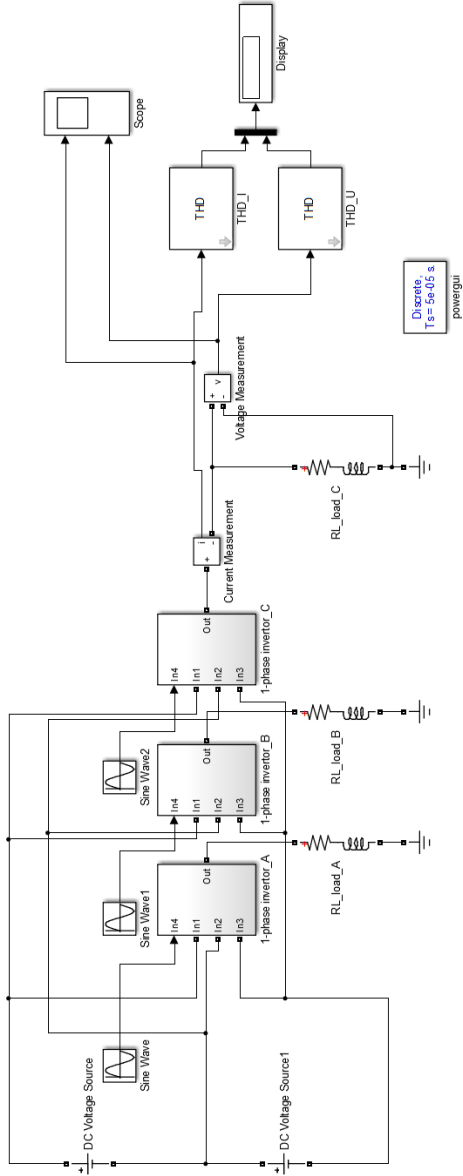


Рисунок. 6.4 - Модель трифазного трирівневого інвертора

часу навантаження $T_H = \frac{L_H}{R_H} (с)$. Моделювання проводиться для кожного значення опору навантаження. Результати моделювання заносяться в таблицю, аналогічну 6.1.

За результатами табл. 6.1 будуються залежності THD I, THD U = f(T_H).

6.5 Зміст звіту

6.5.1 Схема віртуальної установці.

6.5.2 Залежність коефіцієнта гармонік струму і напруги від постійної часу навантаження для одноплечевого трирівневого інвертора.

6.5.3 Залежності коефіцієнта гармонік струму і напруги від постійної часу навантаження для трифазного трирівневого інвертора.

6.5.4 Висновки по роботі.

6.6. Контрольні запитання

6.6.1. Наведіть основні переваги багаторівневих інверторів?

6.6.2. Наведіть алгоритм керування вентилями багаторівневого інвертора?

6.6.3. Надайте аналіз коефіцієнта гармонік вихідного струму і напруги одноплечевого трирівневого інвертора з симетричним керуванням при роботі на активно-індуктивне навантаження?

6.6.4 Надайте аналіз коефіцієнта гармонік вихідного струму і напруги трехфазного трирівневого інвертора при роботі на активно-індуктивне навантаження?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты [Текст] / Р. Т. Шрейнер. Екатеринбург.: УРО РАН, 2000 – 654с. (рос. мовою).
2. Браславский И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод [Текст] / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. М: АСАДЕМА, 2004. – 202с. (рос. мовою).
3. Забродин Ю. С. Промышленная электроника [Текст] / Ю. С. Забродин. М.: Высшая школа, 1981. – 532с. (рос. мовою)
4. Парфенов Э.Е. Вентильные каскады [Текст] / Э.Е. Парфенов, В.А. Прозоров; Л., «Энергия» 1968, - 92 с. (рос. мовою)
5. Руденко В. С. Преобразовательная техника [Текст] / В. С. Руденко, В. И. Синько, И. М. Чиженко. К.: Вища школа. Головное из-во, 1983 – 431с. (рос. мовою)
6. Шавьолкін О.О. Перетворювальна техніка: навчальний посібник / О.О. Шавьолкін, О.М.Наливайко. – Краматорськ: ДДМА, 2008. - 326с. (рос. мовою)
7. Онищенко Г. Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок [Текст] / Г. Б. Онищенко, М. И. Аксенов, В. П. Грехов и др., - М.: РАСХН – 2001 – 520с.

Додаткова література

8. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем [Текст] / С.Г. Герман-Галкин; - Санкт-Петербург.: 2001. - 320 с. (рос. мовою).
9. Дашенко А. Ф. МАТЛАВ в инженерных и научных расчетах [Текст] / А. Ф. Дашенко, В. Х. Кириллов, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей. – Одесса: Астропринт, 2003. – 210с. (рос. мовою).
10. Черних И. В. Моделирование электротехнических устройств в MatLAB, SimPowerSystems и Simulink. [Текст] / И. В. Черних. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288с. (рос. мовою).