Міністерство освіти і науки України Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

### МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до виконання лабораторної роботи СПТ-7

«Дослідження трифазного інвертора, веденого мережею»

з дисципліни "Силова перетворювальна техніка" напряму 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» для студентів денної і заочної форм навчання

> Дніпро 2023

Міністерство освіти і науки України Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

# МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до виконання лабораторної роботи СПТ-7

### «Дослідження трифазного інвертора, веденого мережею»

з дисципліни "Силова перетворювальна техніка" напряму 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» для студентів денної і заочної форм навчання

> Затверджено на засіданні кафедри електроенергетики Протокол № від 2023 р.

Дніпро 2023 Методичні вказівки до лабораторної роботи СПТ-7 "Дослідження трифазного інвертора, веденого мережею" з дисципліни "Силова перетворювальна техніка" напряму 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» для студентів денної і заочної форм навчання / Укладачі О.Р. Ковальов, С.В. Дибрін — Дніпро: НТУ «ДП», 2023. — 15 с.

Оновлено і перекладено українською мовою асистентом кафедри електроенергетики Дибріним Сергієм Володимировичем

### Мета роботи

Дослідження регулювальних і енергетичних характеристик трифазного двонапівперіодного (мостового) інвертора, веденого мережею.

Дослідження гармонійною складу струму, генерованого інвертором в мережу.

### Опис віртуальної лабораторної установки



Рис. 1 Модель інвертора тиристора, веденого мережею

Віртуальна лабораторна установка (рис. 1) містить:

• джерело трифазної синусоїдальної напруги (Inductive source with neutral);

•активно-індуктивне навантаження (Series RLC Branch) з противо-е.р.с. (DC Voltage Source); Воск Рагатеters: Inductive source with neutral

• вимірювачі миттєвих струмів у джерелі живлення (I1) і навантаженні (I Load);

• вимірювач миттєвої напруги на навантаженні (U Load);

•блок для виміру гармонійних складових струму живлення (Fourier I1);

•блок для виміру гармонійних складових струму навантаження (Fourier I0) і аналогічний блок для виміру гармонійних складових напруги на навантаженні (Fourier U0);

Block Parameters: Inductive source with neutral
- 3-phase inductive source - Ungrounded neutral (mask) (link)
This block implements a three-phase source in series with a serie RL branch, the common node (neutral) of the three sources is accesible via input one (N) of the block
Parameters
Phase-to-ground peak voltage (V) :
310
Phase angle of phase A (Degrees) :
0
Frequency (Hz) :
50
Source resistance (Ohms):
0.01
Source inductance (H) :
0
OK Cancel Help Apply

**Рис. 2, а.** Вікно налаштування параметрів джерела живлення



Рис. 2, б. Вікно налаштування параметрів блоку Fourier I1

Рис. 2, в. Вікно налаштування	Я
параметрів блоків	
Fourier I0 i Fourier U0	

llock Parameters: Series RLC Branch	🗵 🛛 Block Para
– Series RLC Branch (mask) (link)	Universa
Implements a series RLC branch.	This block Series RC
Parameters	device. F
Resistance R (Ohms):	2010.
10	
Inductance L (H):	Number
50e-2	Port con
Capacitance C (F):	Snubber
inf	1e5
Measurements None	Snubber
	inf
OK Cancel <u>H</u> elp <u>A</u>	PPly Power E
	Bon (Ob

Рис. 2, г. Вікно налаштування параметрів навантаження

Block Parameters: DC Voltage Source
DC Voltage Source (mask) (link)
Ideal DC voltage source.
Parameters
Amplitude (V):
200
Measurements None
OK Cancel <u>H</u> elp <u>Apply</u>

Рис. 2, д. Вікно налаштування параметрів проти - е.р.с

Block Parameters: Universal Bridge 🛛 🕹					
Universal Bridge (mask) (link)					
This block implement a bridge of selected power electronics devices. Series RC snubber circuits are connected in parallel with each switch device. For most applications the internal inductance should be set to zero.					
Parameters					
Number of bridge arms: 3					
Port configuration ABC as input terminals					
Snubber resistance Rs (Ohms)					
1e5					
Snubber capacitance Cs (F)					
inf					
Power Electronic device Thyristors					
Ron (Ohms)					
1e-3					
Lon (H)					
0					
Forward voltage Vf (V)					
0					
Measurements All voltages and currents					
OK Cancel Help Apply					

Рис. 2, е. Вікно налаштування керованого випрямляча

•блок для спостереження (вимірювання) миттєвих значень струму в ланцюзі живлення, струму навантаження і напруги на навантаженні (Scope);

•блок для спостереження (вимірювання) миттєвих значень величин, що вибрані в полі Measurement відповідних блоків Multimeter;

• блок To Workspace, призначений для передачі досліджуваного сигналу в робочий простір MatLab з наступною обробкою пакетом розширення Signal Processing Toolbox для дослідження гармонійного спектру струму споживання;

• трифазний тиристорний міст (Universal Bridge);

•блок для вимірювання амплітудного значення струму і його фази в ланцюзі живлення (Display1);

• блок для вимірювання середніх значень струму і напруги на навантаженні (Display);

•бібліотечний блок управління трифазним випрямлячем (Synchronized 6 - Pulse Generator).

Вікно налаштування параметрів блоку управління трифазним випрямлячем приведене на рис. 3.

До полів вікна вводяться значення частоти джерела і тривалості імпульсу управління в градусах. Останню величину слід погоджувати з сигналом управління (вхід alpha\_deg у блоці Sinchronized 6 - Pulse Generator рис. 1) так, щоб сума цих кутів не перевищувала 120 градусів.

На вхід блоку поступають синхронізуючі сигнали від мережі та сигнал завдання кута управління.

Блок То Workspace призначений для передачі досліджуваного сигналу в робочий простір MatLab з наступною



**Рис. 3.** Вікно налаштування параметрів блоку управління трифазним випрямлячем

обробкою пакетом розширення Signal Processing Toolbox для дослідження гармонійного спектру струму споживання. Вікно налаштування параметрів блоку показане на рис. 4

У перше вікна поле налаштування введено назву змінної, піл якою вектор виміряних значень фігуруватиме в робочому просторі. У другому полі визначено довжину вектору (кількість записаних значень досліджуваної змінної). Довжина вектору має бути пов'язана як з частотою (періодом) досліджуваного сигналу, так і з часом поля Sample time. Частота досліджуваного сигналу в даному випадку дорівнює 50 Гц (період с). При часі зчитування 0.02 сигналу 2е-4 на періоді зчитуються 100 точок. Виходить, що в робочу область при довжині вектору 200

Block Parameters: To Workspace	×
To Workspace	
Write input to specified array or structure in MATLAB's main workspace. Data is not available until the simulation is stopped or paused.	
Parameters	
Variable name:	
Lab_6_4	
Limit data points to last:	
200	
Decimation:	
1	
Sample time (-1 for inherited):	
2e-4	
Save format: Array	
OK Cancel <u>H</u> elp <u>Apply</u>	

**Рис. 4**. Вікно налаштування параметрів блоку То Workspace

будуть записані два останні періоди досліджуваного сигналу. Слід підкреслити, що для отримання спектру необхідно записувати в робочу область не менше двох періодів. А час в полі Sample Time має бути погоджений з кроком моделювання у вікні параметрів моделювання (рис. 5). Формат вектору встановлюється в нижньому полі вікна.

### Порядок проведення лабораторної роботи

**1.** Проводяться дослідження регулювальної й енергетичних характеристик веденого мережею інвертора на віртуальній установці (рис. 1).

🛃 Simulation Parameters: untitled							
Solver Workspace I/O Diagnostics Advanced Real-Time Works	hop						
Simulation time Start time: 0.0 Stop time: 0.2							
Solver options Type: Variable-step  ode23tb (stiff/TR-BDF2)							
Max step size: 2e-4 Relative tolerance: 1e-3	51						
Min step size: auto Absolute tolerance: auto							
Initial step size: auto							
Output options							
Refine output   Refine factor: 1							
OK Cancel Help A	pply						

Рис. 5. Параметри моделювання

Приймаються наступні параметри навантаження:

опір навантаження – "№ варіанту×5+5";

• індуктивність така, щоб постійна часу навантаження  $T_H = L_H/R_H$  залишалася незмінною в межах (2...5) T(T = 1/f, f— частота джерела. У нашому випадку частота першої гармоніки випрямленого струму f=300 Гц).

При самостійному вивченні ці параметри доцільно задати такими ж, як на рисунках. Параметри моделювання задаються на вкладці Simulation/parameters (рис. 5).

При знятті характеристик параметри R, L в ланцюзі постійного струму інвертора залишаються без змін, змінюється кут управління від 90 до 110 градусів з кроком 10 градусів.

Характеристики знімаються для трьох значень е.р.с навантаження: 200, 300, 400 В. При цьому моделювання проводиться для кожного значення кута управління й е.р.с. Результати моделювання заносяться в табл. 1.

Д	ані	Виміри			Обчислення		ння			
α	E	$I_{H}$	$U_{\scriptscriptstyle H}$	$I_1(1)_{\max}$	$\varphi_1$	$U_{T \max}$	$I_{T \max}$	$S_1(1)$	$P_{1}(1)$	$P_{H}$
град	В	Α	В	А	град	В	Α	BA	Вт	Вт

Амплітуда першої гармоніки в джерелі живлення і початкова фаза визначаються цього струму за показаннями Display 1. Струм і напруга ланцюзі постійного В струму інвертора визначаються за Display. Миттєві показаннями значення ших величин можна спостерігати на екрані осцилоскопа (рис. 6). Слід звернути увагу, що при позитивному струмі напруга в ланиюзі постійного струму негативна. Крім того, фаза струму в ланцюзі живлення зсунута відносно напруги живлення на –110 градусів. Все це свідчить про те, що енергія передається з ланцюга постійного струму в ланцюг змінного струму.



**Рис. 6**. Електромагнітні процеси в схемі

### Таблиця 1

У графічному вікні блоку Multimeter (рис. 7) спостерігаються і визначаються максимальна напруга і струм тиристора керованого випрямляча.

Повна й активна потужність по першій гармоніці, що генерується веденим інвертором в мережу змінного струму, розраховуються за виразами:

$$S_{1}(1) = \frac{U_{1.\max} \cdot I_{1}(1)_{\max}}{2} \quad (BA); \qquad P_{1}(1) = \frac{U_{1.\max} \cdot I_{1}(1)_{\max} \cdot \cos \phi_{1}}{2} \quad (BT).$$

Потужність в ланцюзі постійного струму визначається за формулою:

$$P_H = U_H I_H \quad \text{(BT)}.$$

За результатами табл. 1 будуються:

• регулювальна характеристика веденого мережею інвертора :

$$U_H = f(I_H);$$

• енергетичні характеристики веденого мережею інвертора :

$$S_1(1), P_H = f(P_1(1)).$$



Рис. 7 Миттєва напруга і струм тиристора



**Рис. 8** Струм в ланцюзі джерела змінного струму веденого інвертора

2. Дослідження спектрального складу струму, генерованого інвертором в мережу, здійснюється при одному значенні кута управління (|№ вар.-20| + 90°) в пакеті розширення Signal Processing Toolbox. Використовуючи засоби перегляду сигналу, записаного в робочу область під ім'ям Lab\_7, можна проглянути досліджуваний сигнал (рис. 8).

Спектральний склад струму показано на рис. 9.

Щоб по осі ординат відкладалися амплітудні значення струмів гармонік в пункті меню Options, вікна Spectrum Viewer в підпункті Magnitude Scale необхідно вибрати Linear. Для визначення абсолютних значень гармонійних складових в амперах слід скористатися формулою:

$$I_1(\upsilon)_{\max}(A) = \frac{\upsilon y_{\upsilon}}{y_1} I_1(1)_{\max},$$

де  $I_1(v)_{max}$  – амплітуда струму v-ої гармоніки в амперах;  $y_1$ ,  $y_v$  – значення, визначені з рис. 9;  $I_1(1)_{max}$  – струм, зчитаний з дисплея в амперах.

Для масштабування спектру можна скористатися панеллю інструментів вікна Spectrum Viewer.



Рис. 9 Спектр струму в ланцюзі джерела змінного струму

За результатами вимірів і розрахунків заповнюється табл. 2.

Таблиця 2

	Виміри	Обчислення	
а (град)	$y_2 \dots y_{\nu}$	$I_1(1)_{max}(A)$	$I_1(2)_{max}I_1(\upsilon)_{max}(A)$

## Зміст звіту

- 1. Схема віртуальної установки.
- 2. Вирази для розрахунку основних характеристик.
- 3. Енергетичні характеристики.
- 4. Регулювальна характеристика.
- 5. Спектральний склад струму в ланцюзі змінного струму.
- 6. Висновки по роботі.

### ЛІТЕРАТУРА

- 1. Забродин Ю. С. Промышленная электроника. М.: Высшая школа, 1981. 532 с.
- 2. Кацман М. М. Электрические машины и трансформаторы. М.: Высшая школа, 1971. 416 с.
- 3. Гультяев А.К. Визуальное моделирование в среде MatLab. СПб.: Питер, 2000. 429 с.
- 4. Дьяконов В. П., Абраменкова И. В., Круглов В. В. MatLab 5 с пакетами расширения. М.: Нолидж, 2001.