

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ**

**до лабораторних занять**

**з навчальної дисципліни « Альтернативні джерела енергії»**

**обов'язкових компонент**

**освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(Електромеханіка)***

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу  
Протокол від 28.08.2023  
№ 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, протокол від 28.08.2023 № 1

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., професор, спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

**Рецензенти:**

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Волканін Є.Є.

**Розподіл часу навчальної дисципліни з**

**1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами**

**1.1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами  
(денна форма навчання), не передбачена навчальним планом**

**1.2. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами  
(заочна форма навчання)**

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	Всього	з них:					
		Лекції	Семінарські заняття	Практичні заняття	Лабораторні заняття	Самостійна робота	
Тема 1. Загальні відомості.	4	0	0	0	0	4	
Тема 2. Геліоенергетика.	14	2	0	2	2	8	
Тема 3. Біоенергетика.	14	2	0	0	0	12	
Тема4. Вітроенергетика.	20	2	0	2	2	14	
Тема 5. Геотермальна енергетика.	18	0	0	0	0	18	
Тема 6. Мала гідроенергетика.	18	0	0	0	2	16	
Тема 7. Комплексне використання відновлювальних джерел і акумуляторів енергії.	16	0	0	0	0	16	
Тема 8. Огляд новітніх розробок у сфері енергоощадності та відновлювальної енергетики. Приклади їх впровадження в практику використання у різних сферах.	16	0	0	0	0	16	
Всього за семестр № 5:	120	6	0	4	6	104	залік

Схема включає такі елементи:

1. Irradiance. Цей блок створює постійний фізичний сигнал. Постійний параметр приймає як позитивні, так і негативні значення. Вихідний блок являє собою порт фізичного сигналу.
2. Solar Cell. Сонячний блок Cell є джерело струму сонячних батарей. Модель фотоелемента включає в себе наступні компоненти: сонячно-індукований струм, температурну залежність, тепловий порт.
3. Solver Configuration. Блок конфігурації Solver визначає параметри розв'язання, що ваша модель потребує, перш ніж почати моделювання. Кожна Simscape блок-схема вимагає рівно один блок конфігурації для підключення до нього.
4. Controlled Voltage Source. Блок являє собою ідеальне джерело напруги, який є досить потужним, щоб підтримувати задану напругу на виході незалежно від струму, що протікає через джерело. Блок має один вхідний порт фізичного сигналу і два електричних збереження портів, пов'язані з його електричними клемми.
5. Блок PS-Simulink (PSS) перетворює фізичний сигнал в Simulink вихідного сигналу. Використовується для підключення виходів діаграми фізичної мережі для Simulink областей або інших Simulink блоків. Параметр блоку вихідного сигналу дозволяє вказати бажані одиниці виміру для вихідного сигналу. Ці пристрої повинні бути відповідні з одиницями вхідного фізичного сигналу, що надходить в блок.
6. Current Sensor. Блок являє собою ідеальний датчик струму, тобто пристрій, який перетворює вимірюваний струм в будь-якої електричної гілки в фізичний сигнал, пропорційний струму. З'єднання + і - це електричні порти, через які датчик вставляється в ланцюг. З'єднання I є портом фізичного сигналу, який виводить результат вимірювання.
7. Ramp. Джерело лінійно змінюючого впливу, який формує лінійний сигнал. Блок генерує сигнал, який починається в заданий час і заданим значенням, змінюється по заданій швидкості.
8. Product. Блок виводить результат множення двох входів: два скалярів, скаляр і не скалярних, або два не скалярних, які мають однакові розміри.

*Задача 2. Налаштування блоку «Solar Cell» для моделювання.*

Обираємо універсальний блок «Solar Cell». Налаштування блока відбувається у вікні параметрів, представленим на рисунку 2.

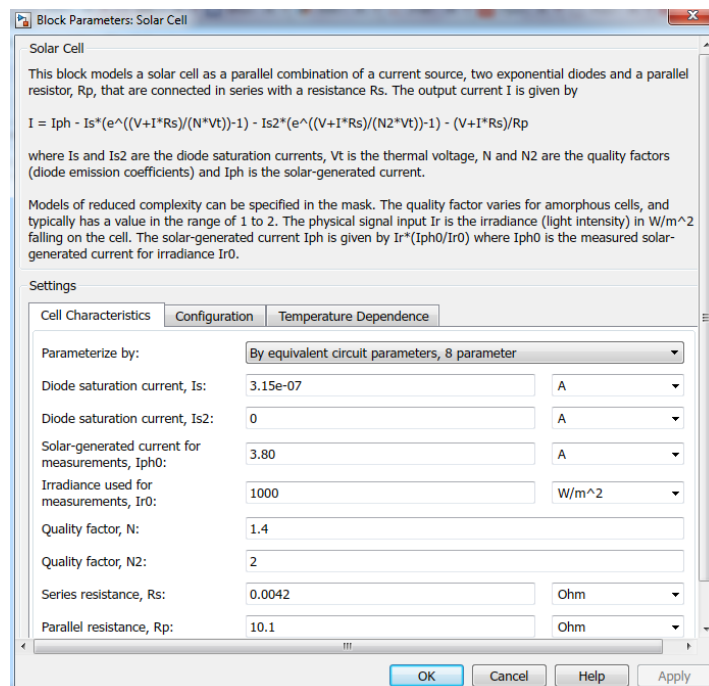


Рисунок 2 – Вікно установки параметрів блока «Solar Cell»

Даний елемент описується математичним виразом, показаним у верхній частині вікна параметрів. Значення температурних параметрів виставляються у наступній вкладці (рисунок 3).

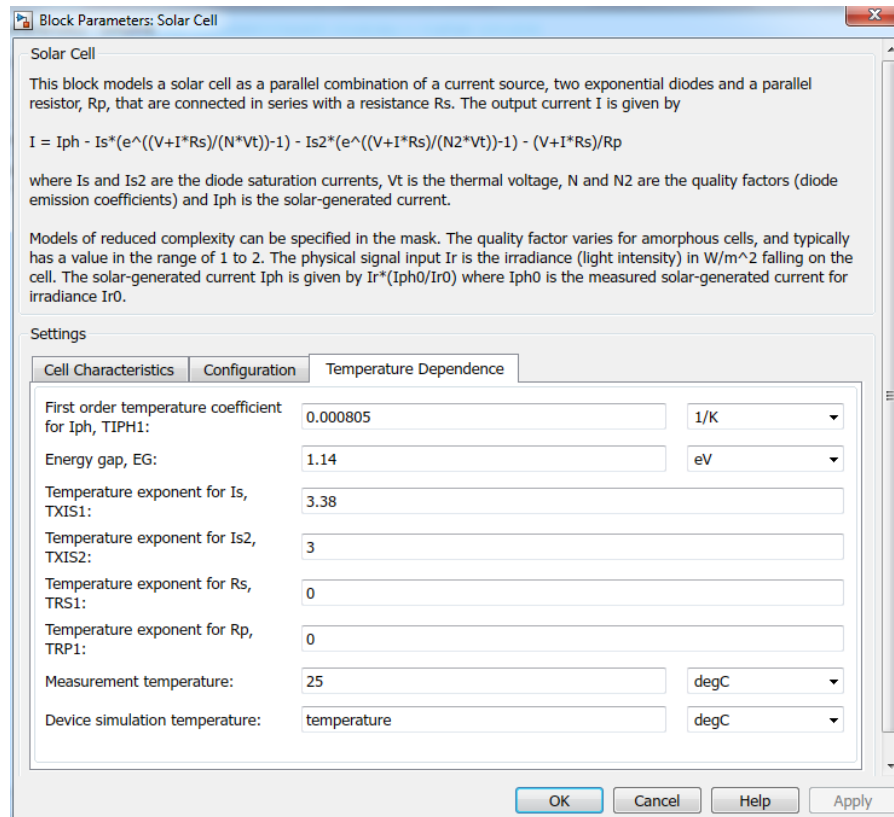


Рисунок 3 – Установка значень температурних параметрів

### Задача 3. Проведення моделювання.

Результати моделювання відображають блоки «Psolar», «Isolar», які виконують побудову графіків значень одного сигналу в функції іншого. При моделюванні температура сонячних модулів приймається рівною 25°C. Криві ВАХ і ВВХ отримані при рівні освітленості 1000  $W/m^2$

Результати моделювання наведені на рисунку 4.

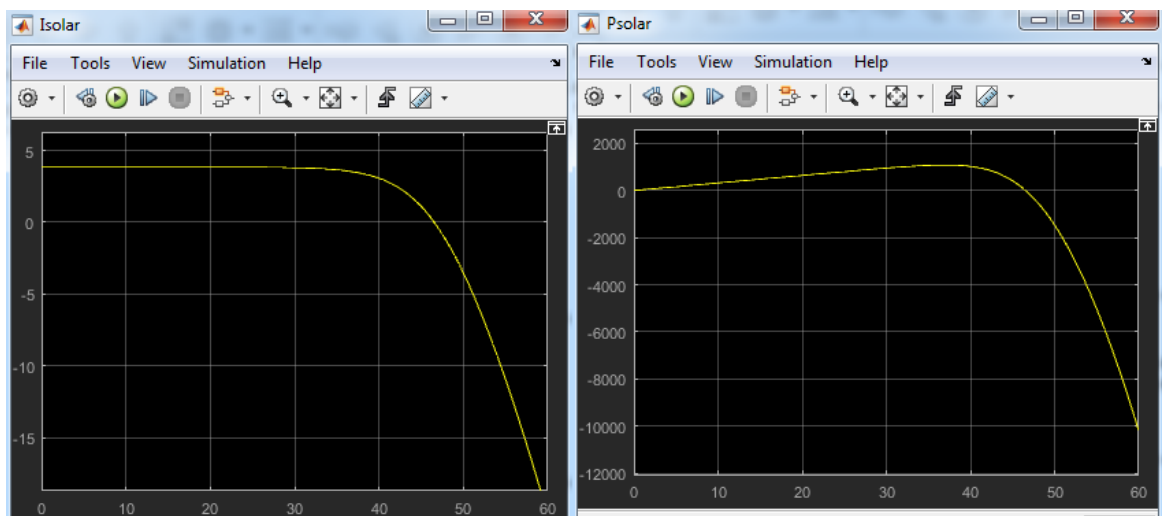


Рисунок 4 – Результати моделювання ВАХ і ВВХ сонячного модуля

На рисунку 5 показано сімейство вольт-ватних характеристик сонячного модуля при різноманітних рівнях освітленості і температури.

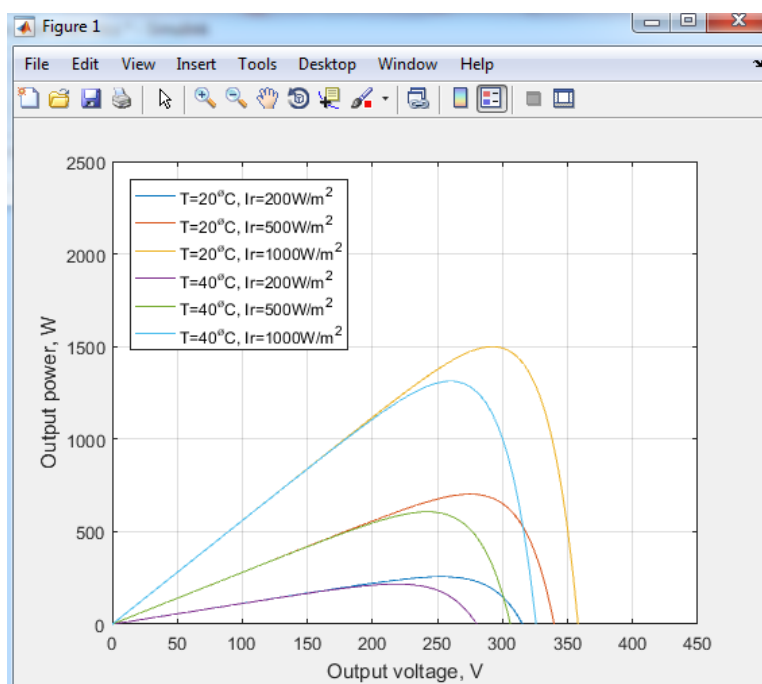


Рисунок 5 – Вольт-ватові характеристики сонячного модуля

#### Тема № 4. Вітроенергетика

**Лабораторне заняття:** Моделювання режимів роботи вітроенергетичної установки

**Навчальна мета заняття:** розглянути та дослідити схему вітрової ферми для вивчення вітроенергетики; описати структурні блоки та зробити висновки.

**Час проведення** - 2 години.

Кількість годин - 2 год. (заочна форма).

**Місце проведення:** аудиторія коледжу.

**Навчальні питання:**

1. Векторне моделювання вітроелектростанції
2. Елементи моделювання
3. Побудова моделі

**Хід проведення заняття:**

1. Проведення попереднього контролю теоретичних знань курсантів (фронтальне опитування).
2. Формування практичних умінь і навичок (виконання завдань).

**Питання для фронтального опитування:**

1. Поясніть суть та значення Кіотського протоколу.
2. Назвіть відомі вам країни, які підписали Кіотський протокол, але не ратифікували його, країни, які його взагалі не підписали.
3. Перелічіть та охарактеризуйте недоліки вітрових установок.
4. В яких межах знаходиться рівень шуму від працюючої вітрової енергетичної установки та яка повинна бути мінімальна відстань від неї до житлових будинків?
5. Назвіть та охарактеризуйте категорії вітрогенераторів.
6. Як класифікуються вітроелектроустановки?
7. Назвіть відомі вам потужні вітроелектростанції в Україні.

**Задачі:**

**Задача 1.** Синтезування схеми в пакеті Matlab.

Схема дослідження показує приклад векторного моделювання вітроелектростанції потужністю 9 МВт з використанням індукційного генератора (IG) приводом від вітрових турбін зі змінним кроком.

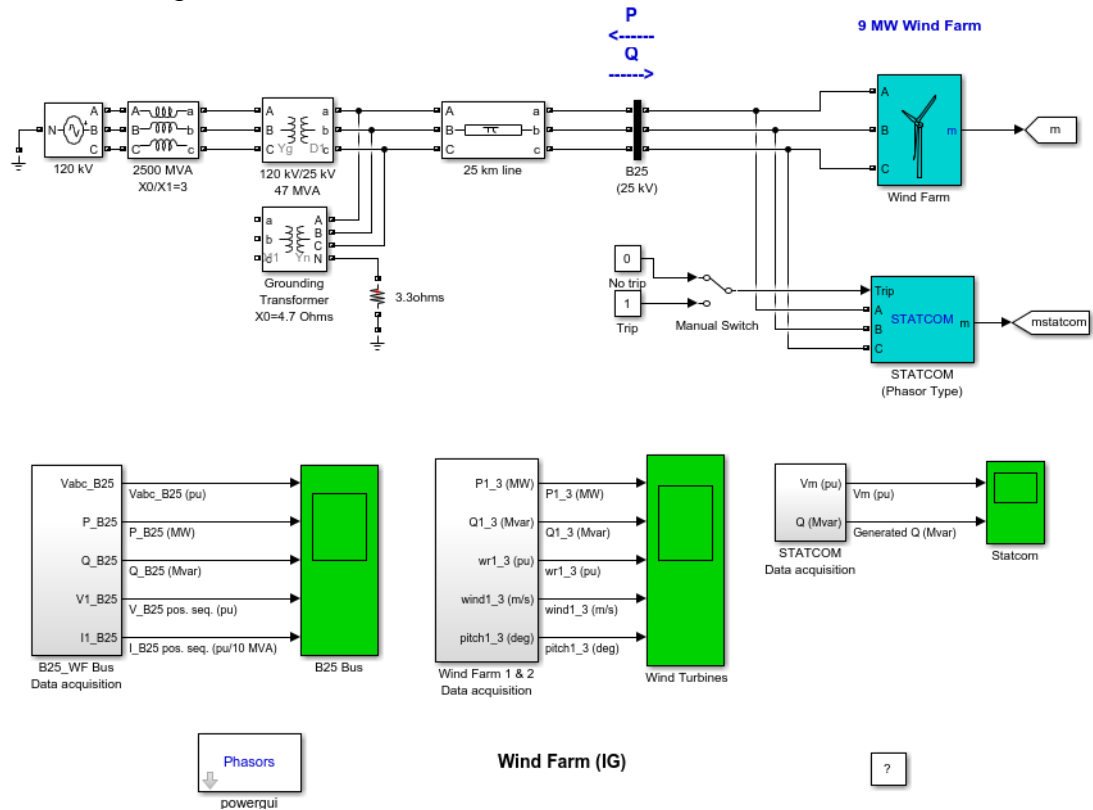


Рисунок 6 – Схема дослідження вітроелектростанції

Вітрова ферма, що складається з шести вітрових турбін потужністю 1,5 МВт підключається до розподільчої системи 25 кВ; експорт електроенергії в мережу 120 кВ через живильник 25 кВ 25 км. Вітрова ферма моделюється трьома парами вітрових турбін потужністю 1,5 МВт.



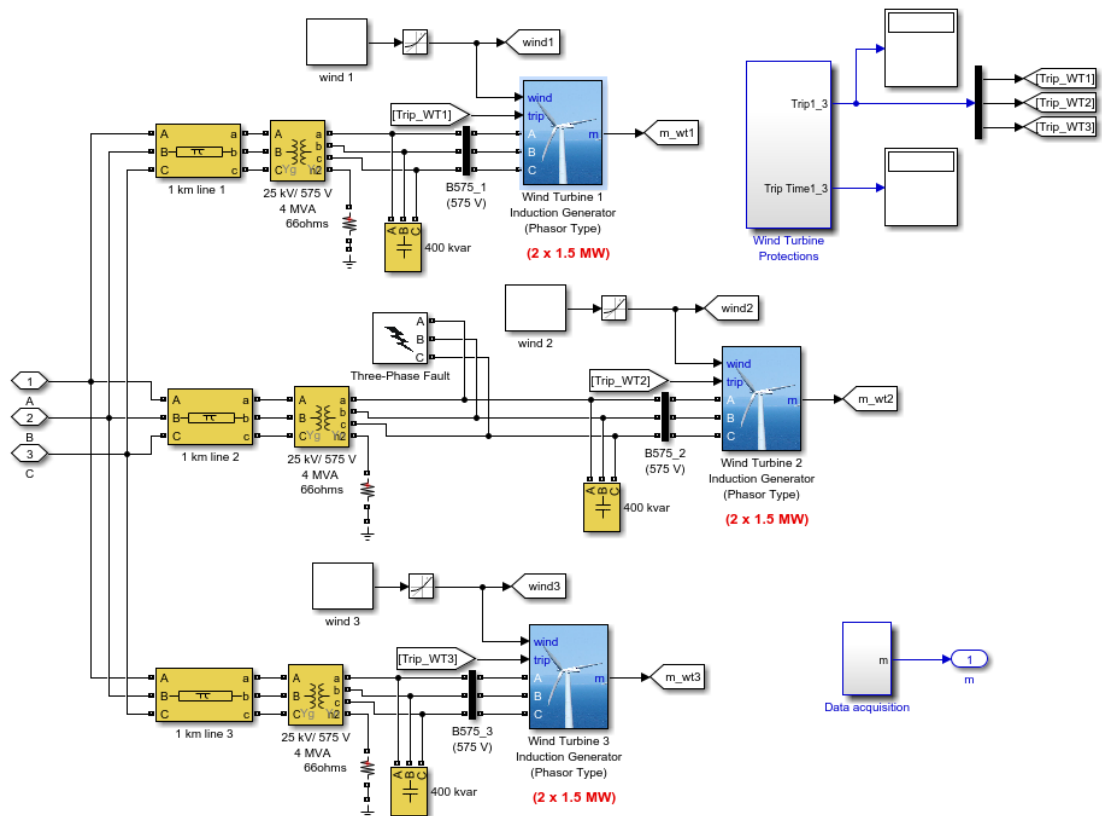


Рисунок 7 – Вітрова ферма

Вітрова турбіна використовує короткозамкнуті асинхронні генератори (IG). Обмотка статора підключена безпосередньо до мережі 60 Гц і ротор приводиться в рух зі змінним кроком вітрової турбіни. Кут нахилу регулюється для того, щоб обмежити вихідні потужності генератора на його номінальне значення для вітру, що перевищує номінальну швидкість (9 м/сек). Для того, щоб генерувати потужність швидкість IG повинна бути трохи вище синхронної швидкості. Швидкість змінюється приблизно від 1 пт. при відсутності навантаження і 1.005 пт. при повному навантаженні.

Кожна вітрова турбіна має систему захисту напруги моніторингу, струм і швидкість машини.

Реактивна потужність, що поглинається IG частково компенсується конденсаторними батареями, які з'єднані на кожній шині вітрової турбіни низької напруги (400 кВар для кожної пари турбіни потужністю 1,5 МВт).

Three-Phase Series RLC Load (mask) (link)

Implements a three-phase series RLC load.

Parameters Load Flow

Configuration Delta

Nominal phase-to-phase voltage Vn (Vrms) 575

Nominal frequency fn (Hz): 60

☐ Specify PQ powers for each phase

Active power P (W): 0

Inductive reactive power QL (positive var): 0

Capacitive reactive power Qc (negative var): 400e3

Measurements None

Рисунок 8 – Блок керування конденсаторною батареєю

Інша частина реактивної потужності, яка необхідна для підтримки напруги 25 кВ на шині В25, близькою до 1 пт. забезпечуються 3МVarSTATCOM з установкою статизму 3%.

Block Parameters: STATCOM (Phasor Type)

Static Synchronous Compensator (Phasor Type) (mask) (link)

Implement phasor model of three-phase static synchronous compensator (STATCOM).

Power Controller

Nominal voltage and frequency [Vrms L-L, fn(Hz)]:

[ 25e3, 60 ]

Converter rating (VA):

3e6

Converter impedance [R(pu), L(pu)]:

[ 0.22/30, 0.22 ]

Converter initial current [Mag(pu), Pha(deg.)]:

[0, 0 ]

DC link nominal voltage (V):

40000/10

DC link total equivalent capacitance (F):

375e-6\*(3/100)\*10^2

Рисунок 9 – Блок STATCOM

Відкриваємо блок «Wind Farm» і дивимось на «Wind Turbine 1».

Відкриваємо меню турбіни і дивимось на два набори параметрів, які задано для турбіни та генератора. Кожна вітрова турбіна являє собою дві турбіни потужністю 1,5 МВт. Відкриваємо меню турбіни, обираємо «Turbine data» і перевіряємо «Display wind-turbine power characteristics» (рисунок10).

Wind Turbine Induction Generator (Phasor Type) (mask) (link)

Implements a phasor model of a squirrel-cage induction generator driven by a wind turbine.

Generator Turbine

Pitch angle beta used to display characteristics (beta >= 0) (deg): 0

Nominal wind turbine mechanical output power (W): 2\*1.5e6

Base wind speed (m/s): 9 Base rotational speed (pu of base generator speed): 1

Maximum power at base wind speed (pu of nominal mechanical power): 1

Pitch angle controller gain: [Kp Ki] [5 25]

Maximum pitch angle (deg): 45 Maximum rate of change of pitch angle (deg/s): 2

Display wind turbine power characteristics

Рисунок 10 – Меню турбіни

Механічна потужність турбіни, як функція швидкості турбіни відображається для швидкості вітру в діапазоні від 4 м / с до 10 м / с.

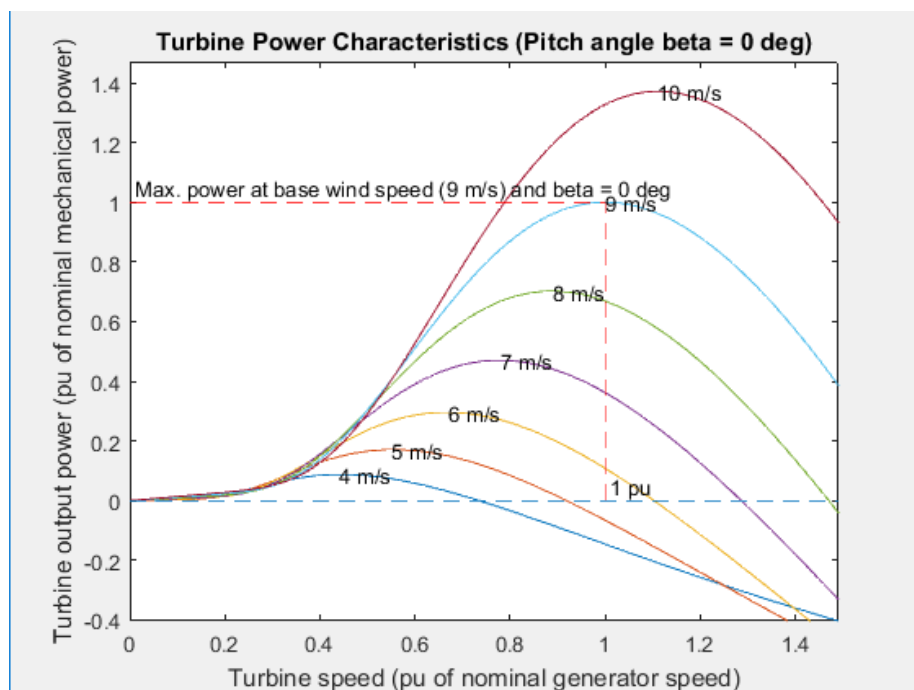


Рисунок 11 – Характеристики потужності турбіни

Номінальна швидкість вітру приносить номінальну механічну потужність (1pu = 3 МВт) становить 9 м/с. Модель турбіни вітру і модель STATCOM (з бібліотеки FACTS) є фазор моделі, що дозволяє дослідження перехідних типів стійкості з тривалим часом моделювання. У цьому прикладі, спостерігається система протягом 20 сек.

Швидкість вітру кожної турбіни контролюються блоками «Wind 1» та «Wind 3». Спочатку швидкість вітру встановлена на рівні 8 м/с, починаючи з T = 2с для «Wind turbine 1», швидкість вітру збивається до 11 м/с протягом 3 секунд. Порив вітру застосовується до турбіни 2 і турбіни 3, відповідно, з 2ї і 4ї секунди затримки. Потім, при T = 15 з тимчасової несправності подається на клема низької напруги (575 В) «Wind turbine 2».

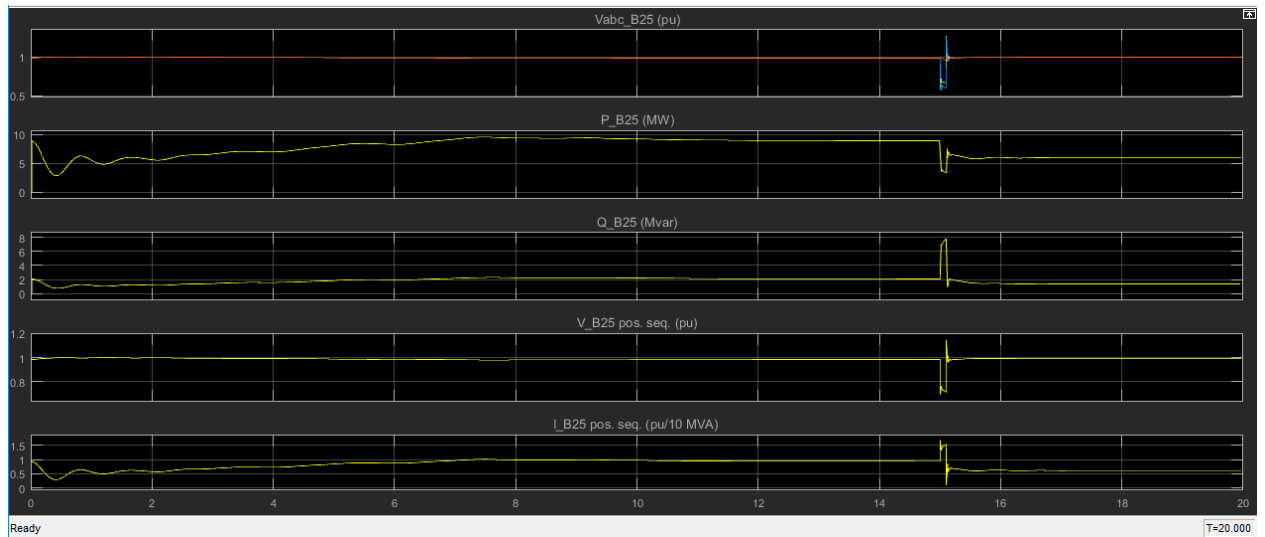


Рисунок 12 – Значення параметрів на шині B25

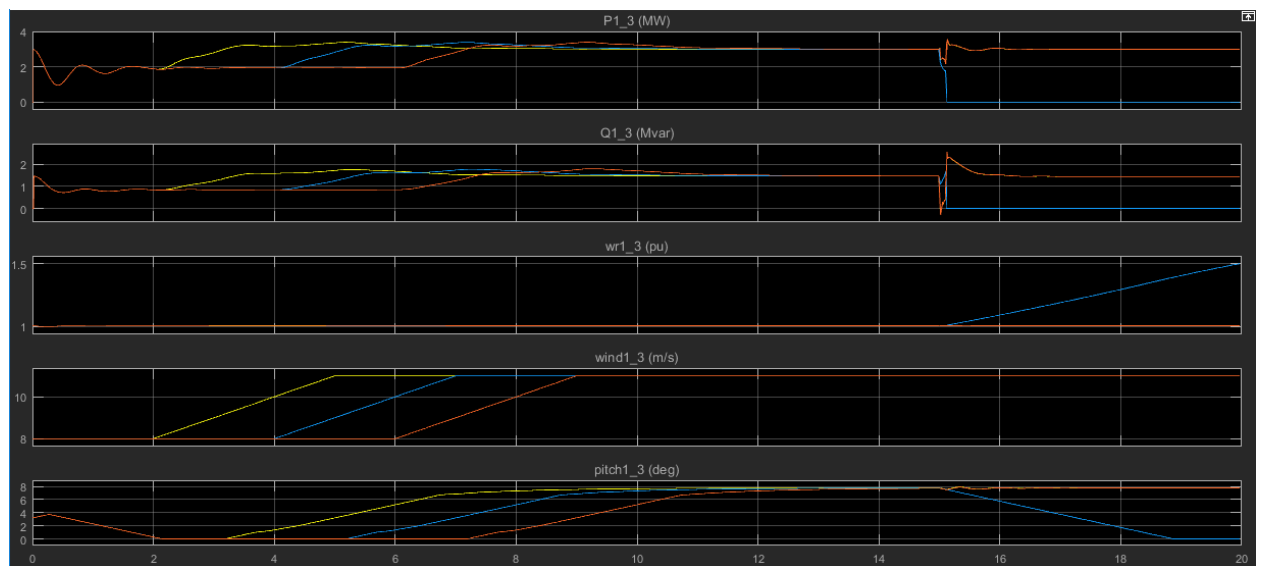


Рисунок 13 – Характеристики блоку Wind turbine

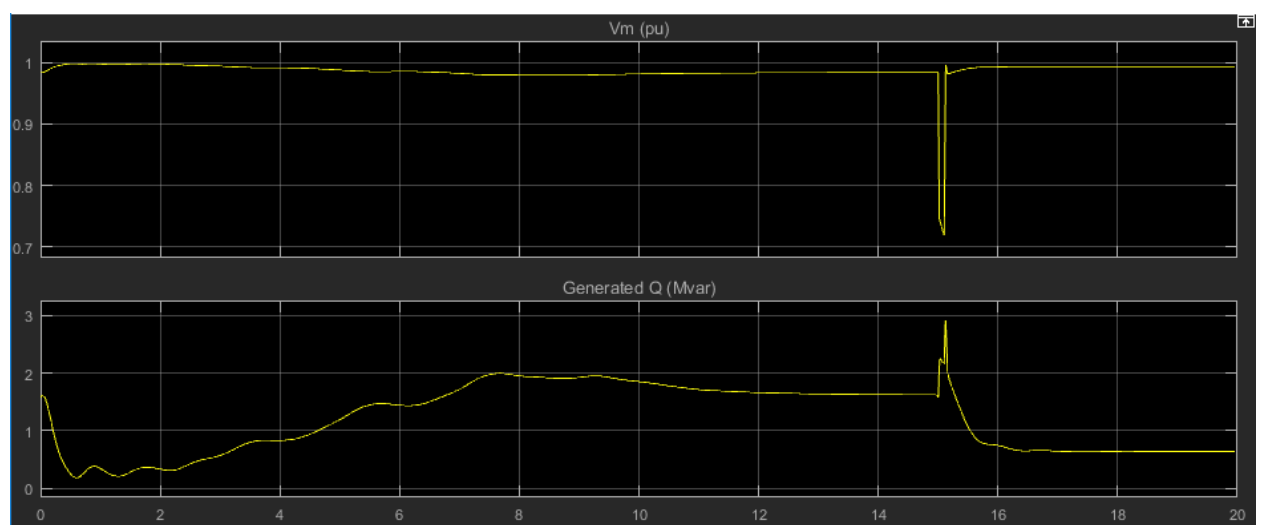


Рисунок 14 – Характеристики блоку STATCOM

## Тема № 6. Мала гідроенергетика

**Лабораторне заняття:** Моделювання режимів роботи гідроенергетичної установки

**Навчальна мета заняття:** розглянути та дослідити принцип керування гідравлічною турбіною за приведеною схемою; описати структурні блоки та зробити висновки.

**Час проведення** - 2 години.

Кількість годин - 2 год. (заочна форма).

**Місце проведення:** аудиторія коледжу.

**Навчальні питання:**

1. Побудова схеми гідроенергетичного вузла
2. Проведення моделювання

**Хід проведення заняття:**

1. Проведення попереднього контролю теоретичних знань курсантів (фронтальне опитування).
2. Формування практичних умінь і навичок (виконання завдань).

**Питання для фронтального опитування:**

1. Дайте визначення поняттю «мала гідроенергетика».
2. Які переваги та недоліки є у малої гідроенергетики?
3. Що являє собою мала гідроенергетика?
4. Яка специфіка малої гідроенергетики?
5. Який принцип дії пристроїв малої гідроенергетики?
6. Назвіть фізичних принцип роботи пристроїв малої гідроенергетики.
7. Наведіть приклади використання малої гідроенергетики в Україні.
8. Наведіть приклади використання малої гідроенергетики у світі.
9. Чи є перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні?

**Задачі:**

**Задача 1.** Синтезування схеми дослідження.

Схема дослідження показує приклад нелінійного контролю гідротурбіною та синхронним регулятором.

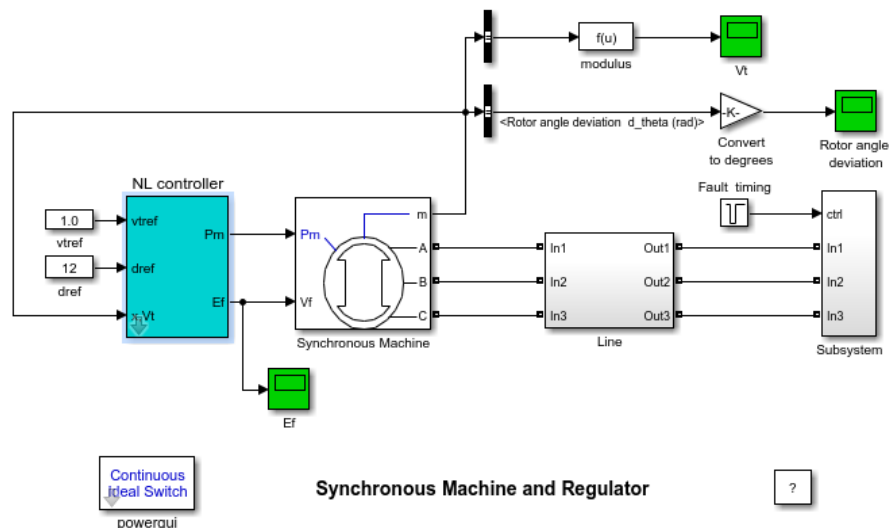


Рисунок 15 – Схема дослідження керування гідротурбіною

В даному прикладі досліджується застосування безлічі входів і безліч виходів нелінійного контролера до системи, що складається з гідравлічної турбіни і синхронного генератора. Повна система моделюється за допомогою SimscapePowerSystems і Simulink блоків. Контролер побудовано на основі схеми лінеаризації зворотного зв'язку. Його головна мета полягає в тому, щоб контролювати кут ротора, а також напругу на клеммах, щоб поліпшити якість стабільності, і отримати хороші динамічні показники.

Виконання нелінійного контролера перевіряється на нелінійній системі турбінного генератора. Контролер і турбіна моделюються з використанням Simulink блоків в той час як генератор представлений блоком синхронної машини з бібліотеки powerlib. Коротке трифазне замикання моделюється на шині навантаження, а несправність ліквідується через 100 мс. Розглянемо більш докладніше структуру нелінійного контролера.

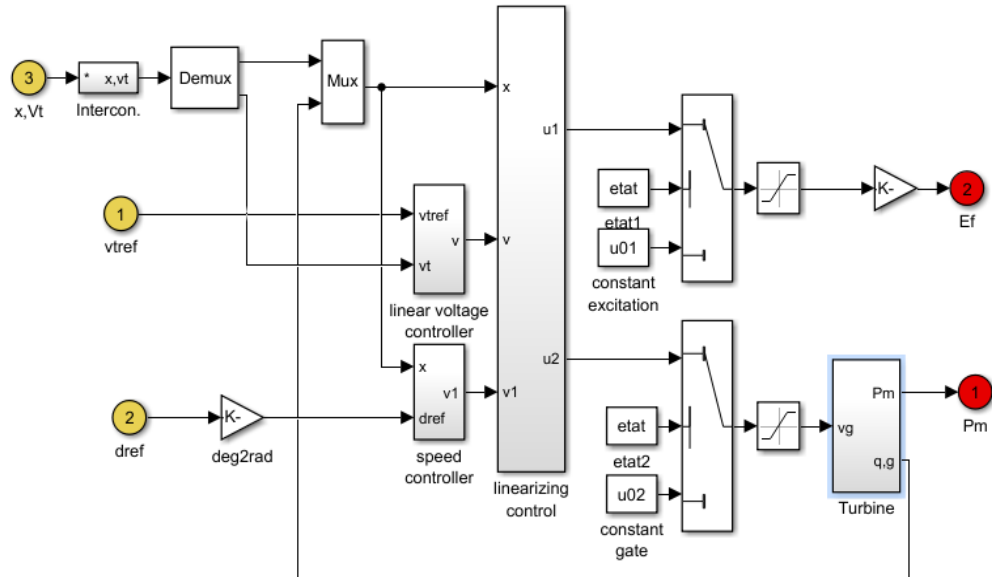


Рисунок 16 – Структурний блок нелінійного контролера

Можемо побачити як на наведеній схемі відбувається керування гідротурбіною.

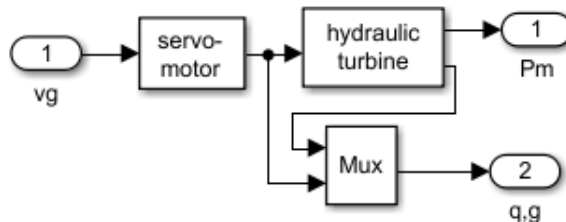


Рисунок 17 – Блок моделювання гідротурбіни

#### Задача 2. Виконання моделювання.

Починаємо моделювання. Звернемо увагу на напругу збудження  $E_f$  (рисунок 18), кут відхилення ротора (рисунок 5), і напруга на клеммах  $V_t$  (рисунок 6).

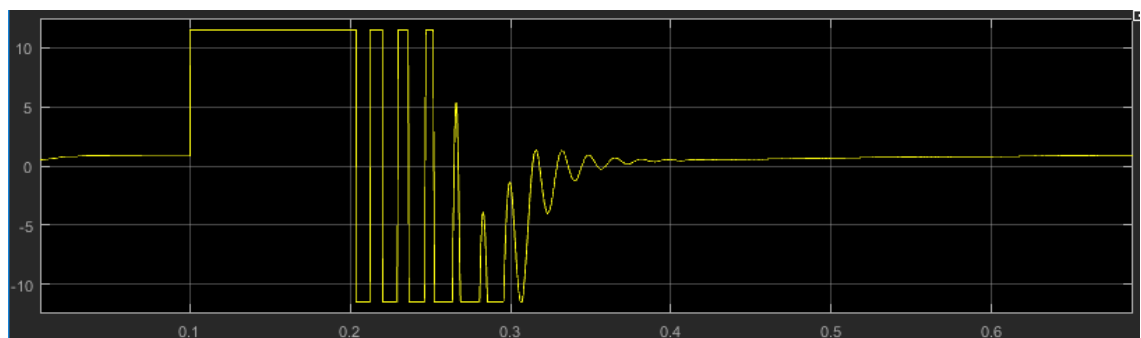


Рисунок 18 – Напруга збудження

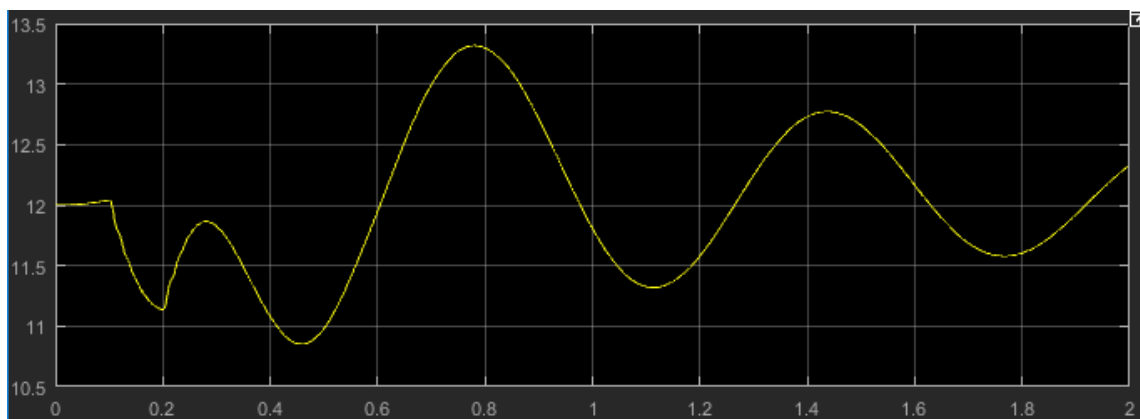


Рисунок 19 – Кут відхилення ротора

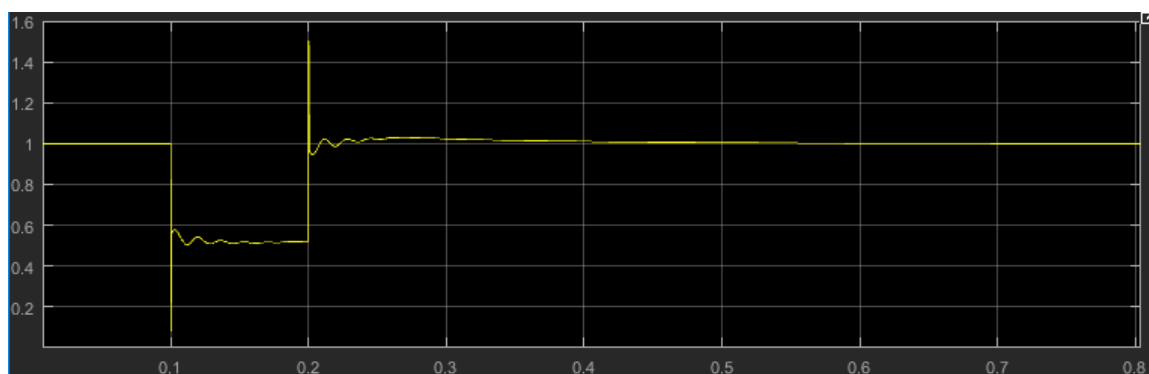


Рисунок 20 – Напруга на клеммах

Можемо спостерігати, як стабілізація  $V_t$  отримана менш ніж за 0,25 секунд з цим контролером. Кут навантаження займає більше часу на стабілізування, так як постійний час механічної частини системи набагато більше, ніж електричне постійне час.

### 3. Рекомендована література

#### Основна література

1. Сінчук І.О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії. Навчальний посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.Є. Мельник; під ред. доктора технічних наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2015. – 270с.
2. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Підручник. – К.: “Політехніка”, 2003. – 228 с.
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та інш. – НАН України, державний комітет України з енергозбереження. – К.: 2001. – 41 с.

#### Допоміжна література

4. Реєстр альтернативних видів палива Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності). – Київ, 2011. – 42 с. Агроекологічний атлас Полтавщини / В.М. Писаренко, Ю.С. Голік, П.В. Писаренко [та ін.]. – Полтава: Оріяна, 2009. – 70 с.

## **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

### **Нормативно-правові акти:**

5. Нормативні акти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу [www.nau.kiev.ua](http://www.nau.kiev.ua)