

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІТРОВОЮ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ

Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, О.А. Жуков, С.М. Левицький,
Вінницький Національний технічний університет

Математичне моделювання процесів в системах керування дозволяє значно спростити налагодження елементів системи регулювання, виходячи з критеріїв стійкої роботи [1]. При цьому рівняння, що входять до складу математичної моделі і якими описуються перехідні процеси в системі, повинні адекватно відображати фізичну сутність об'єкта дослідження та бути достатньо простими. Диференціальні рівняння мають досить складну методику розв'язку та пошуку коренів [2], а тому їх прийнято аналізувати за допомогою передаточних функцій, які отримують з цих рівнянь шляхом перетворення по Лапласу вхідних і вихідних змінних [1]. Відносно вітроенергетичної установки (ВЕУ) вказані висновки поширюються на автоматичний регулятор системи керування, закон керування якого потрібно вдосконалювати.

Розглянемо структурну схему регулятора системи автоматичного керування, яка запропонована в [3].

Автоматичне керування струмом збудження перетворювача енергії передбачається здійснювати в два прийоми, використання кожного з яких залежить від швидкості обертання вітрового колеса. Так, при низькій швидкості обертання вітрового колеса пропонується використовувати математичну модель регулятора збудження з використанням нечіткої логіки, при високих швидкостях достатньо високі показники якості регулювання має ПІ-закон регулювання. Таким чином, математична модель регулятора є сукупністю нечітких правил та ПІ-регулятора в рівнянні формування завдання за напругою для ВЕУ (1).

$$\Delta\omega = \begin{cases} |\omega_{opt} - \omega(t)| - k_v \cdot V_e(t) & \text{якщо } \frac{dV_e^k}{dt} < 0; \\ |\omega_{opt} - \omega(t)| + k_v \cdot V_e(t) & \text{якщо } \frac{dV_e^k}{dt} > 0; \end{cases}$$

$$U_{зад}(t) = \begin{cases} k_\omega \cdot \Delta\omega + \int_0^{2T} \Delta\omega dt; & \text{якщо } \omega_k > \omega_{кр}; \\ \text{fuzzy} \left(V_e, \frac{dV_e^k}{dt}, \omega_k, \omega_{opt} \right), & \text{якщо } \omega_k \leq \omega_{кр}; \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta U = U_{зад}(t) - (U(t) - k_I I_n(t));$$

$$I_{зб}(t) = \left(k_u \cdot \Delta U + \int_0^T \Delta U dt \right) \cdot k_{роб}.$$

Запропонована структура системи керування ВЕУ суттєво нелінійна і викликана з однієї сторони дискретністю визначення методу формування регулюючого впливу на об'єкт, а з іншої – нелінійністю характеристик

вітрового колеса та електромеханічного перетворювача енергії. Тому проводити параметричну оптимізацію таких систем з застосуванням класичних методів (методу штрафних функцій, градієнтного спуску тощо) неможливо, а перевага надається дослідженню імітаційних моделей [4].

Комп'ютерне моделювання і дослідження стійкості системи, яка реалізує закон керування (1) проведено в пакеті прикладних програм MatLab. Розроблена модель системи керування представлена на рис. 1.

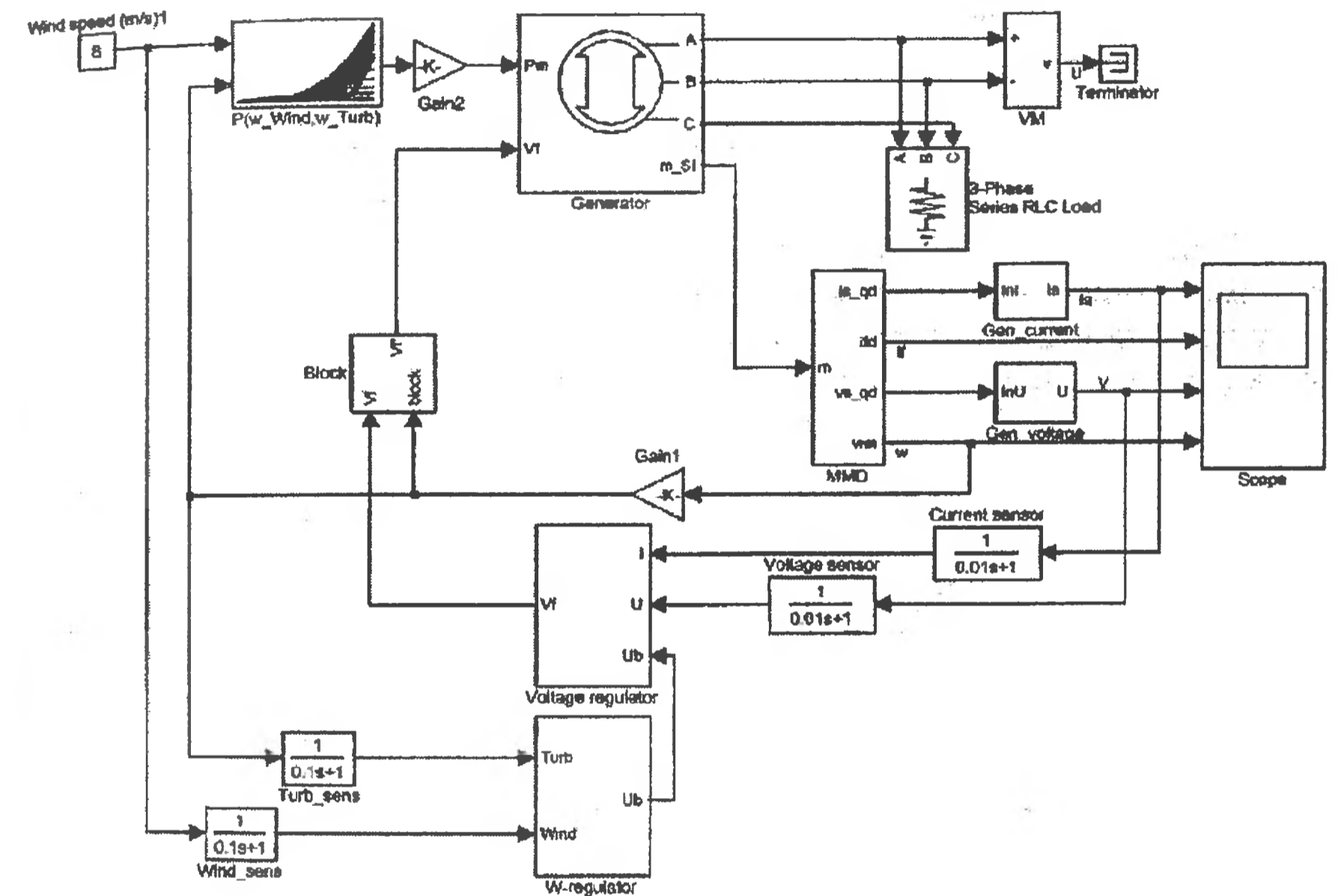


Рис.1. Модель системи автоматичного керування ВЕУ.

Головний регулятор системи керування ВЕУ, представлений як регулятор формування сигналу опорної напруги для внутрішнього (підпорядкованого) контуру регулювання струму збудження у функції ряду змінних, а саме: швидкості вітру та похідної ковзного середнього швидкості вітру, швидкості обертання вітрової турбіни. Структура регулятора представлена на рис. 2. Регулятор реалізує функцію керування, що представлена другим рівнянням системи (1).

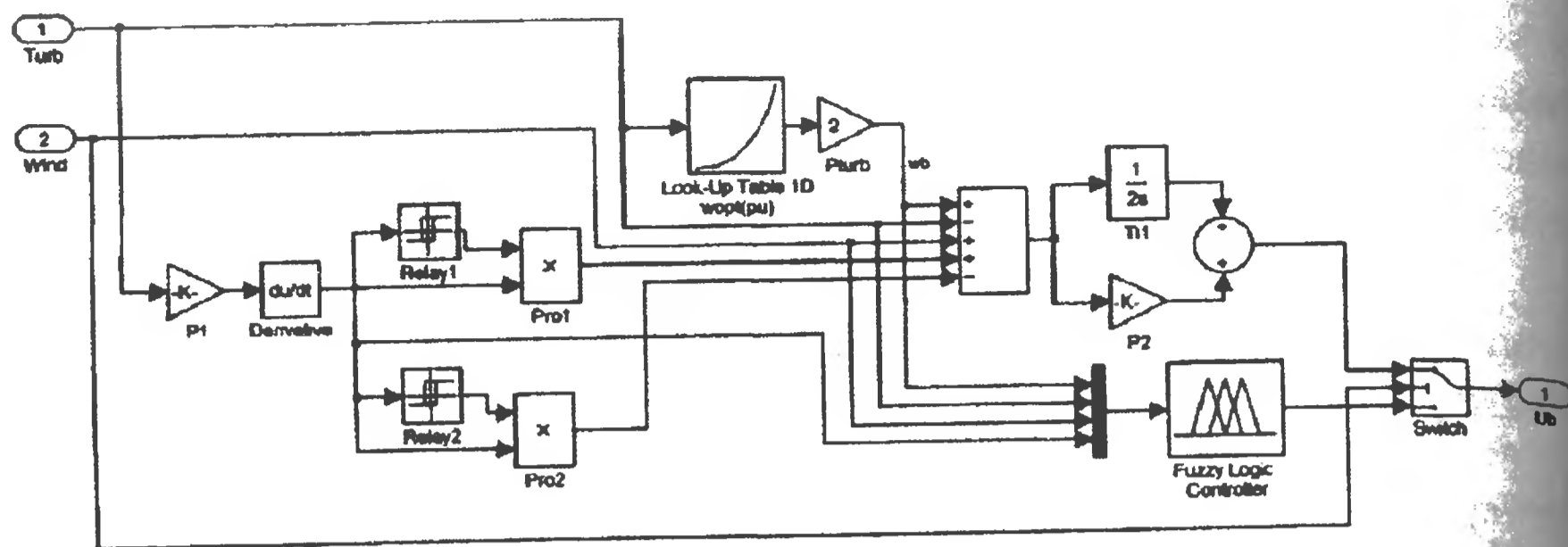
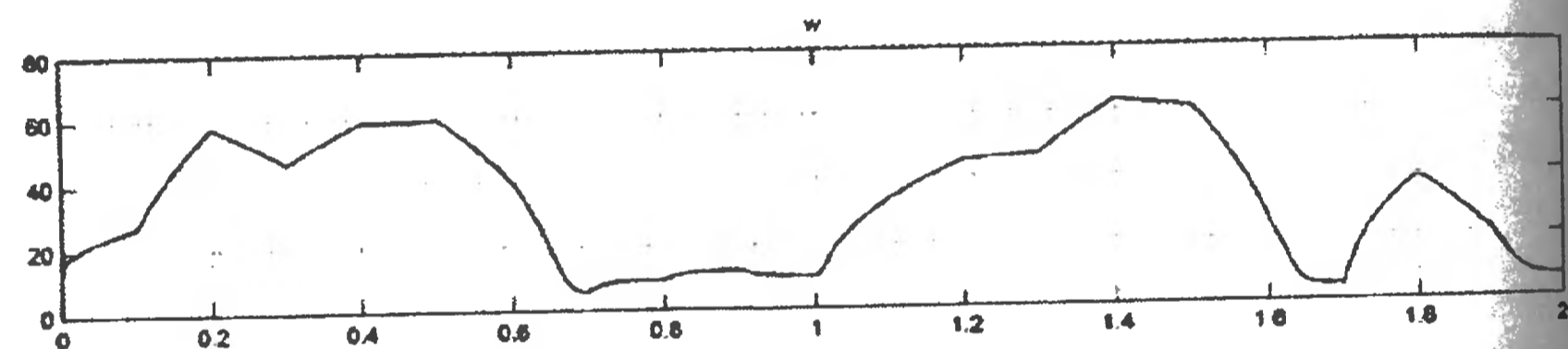
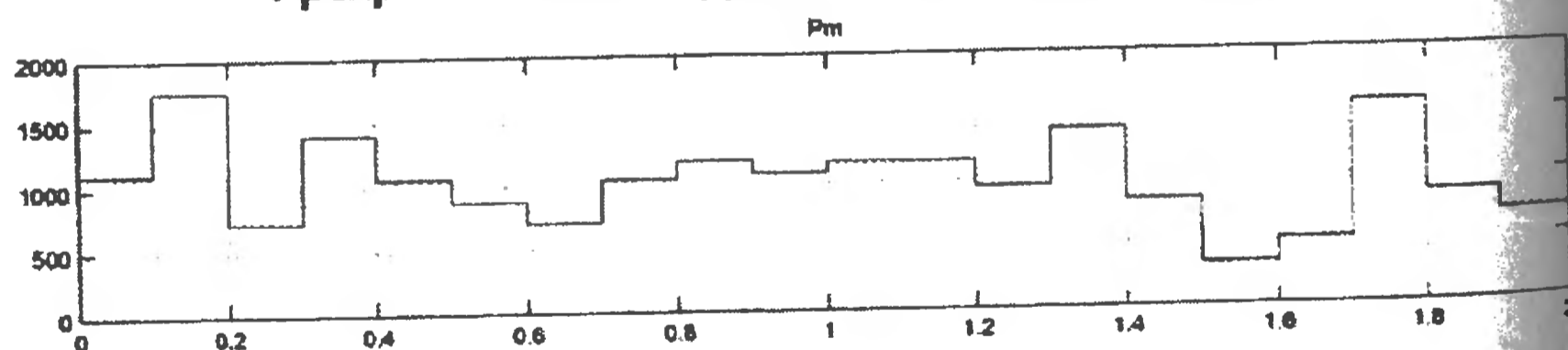


Рис. 2. Модель головного регулятора *W-regulator* системи керування.

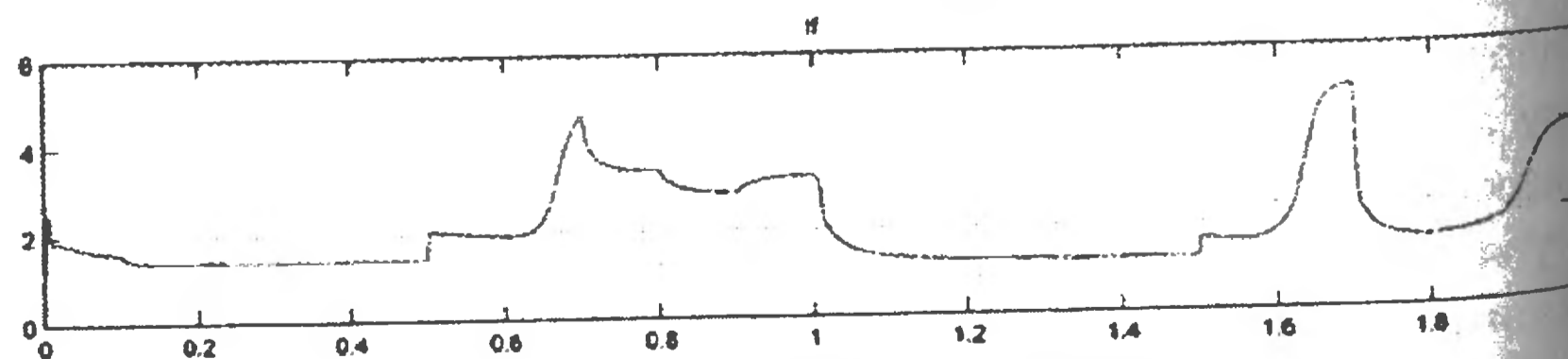
Регулюючий вплив визначається двома шляхами: за допомогою ПІ-регулятора та нечіткого регулятора *Fuzzy Logic Controller*. В структурі системи керування окремим блоком виділено елемент блокування збудження при максимальній (ураганній) швидкості вітру для запобігання пошкодженню перетворювача та обладнання, пов'язаного з ним. Результати моделювання системи керування ВЕУ приведено на рис. 3.



Графік зміни швидкості обертання вітроколеса



Графік зміни потужності



Графік зміни струму збудження

Рис. 3. Перехідні процеси ВЕУ при збуреннях з боку вітру та навантаження.

Висновки:

1) проведено моделювання роботи системи автоматичного керування ВЕУ з використанням комбінованого регулятора, що складається з ПІ-регулятора та нечіткого регулятора, які працюють по чергово в залежності від швидкості вітрового потоку, та отримано динамічні характеристики системи керування при різних типах збурення.

2) Показано, що комбіноване регулювання за допомогою ПІ-регулятора та нечіткого регулятора, які діють кожний в своєму діапазоні швидкостей вітру, суттєво поліпшує якість регулювання ВЕУ в цілому.

Література

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
2. Бугров Я.С. Высшая математика: Учеб. для вузов: в 3 т. / Я.С. Бугров [под ред. В.А. Садовниченко] – М.: Дрофа, 2004. – Т. 2. – 511 с.
3. Система автоматического управления электрической ветроэнергетической установкой с вертикальной осью обертання / Мокін Б.І., Мокін О.Б., Жуков О.А. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – №3. – С. 20–24.
4. Жмак Е.И. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах на основе нечеткой логики : Дис. канд. техн. наук : 05.14.02 Новосибирск, 2004. – 120 с. РГБ ОД, 61:05-5/510.
5. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с. – ISBN 5-94074-395-1.
6. Абраменко И.Г. Компьютерные технологии в автоматизированных системах управления электроснабжения / И.Г. Абраменко, А.И. Кузнецов. – Харьков : ХНАГХ, 2008. – 143 с. – ISBN 966-695-079-0.