

СИТУАЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ АВТОНОМНОЇ АСИНХРОННОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Вступ. Україна має значний потенціал вітрової енергії, хоча його використання на сучасному етапі є незначним. Крім цього, на нашу думку, в Україні недостатньо приділяється увага розробці та вдосконаленню вітроенергетичних установок (ВЕУ) малої і середньої потужності, хоча попит на них на ринку України є значний.

Постановка задачі дослідження. Перспективним напрямком вирішення проблеми генерування електроенергії автономними ВЕУ, а також гідро- та дизельними енергоустановками малої і середньої потужності, є використання серійних асинхронних машин з короткозамкненим ротором, у яких регулювання напруги здійснюється за допомогою статичних компенсаторів реактивної потужності або інверторів напруги. При експлуатації таких ВЕУ виникає задача максимального використання енергії вітру споживачами, включаючи можливість її акумулювання, яка ускладнюється у зв'язку з тим, що зміна як енергії вітру, так і потужність споживачів ВЕУ носять випадковий характер.

Задачею даної статті є аналіз процесів автономної асинхронної генераторної установки з ситуаційним керуванням енергетичним режимом за використання нечітких регуляторів та її дослідження на математичній та фізичній моделях в різних можливих режимах роботи, вироблення рекомендацій щодо синтезу системи ситуаційного керування за умови дії випадкових збурень у каналах швидкості обертання асинхронного генератора (АГ) та навантаження, що забезпечить створення автономних генераторних установок підвищеної надійності та економічності.

Матеріал дослідження. Потужність на виході асинхронного генератора ВЕУ визначається за виразом $P_{\Gamma} = h \cdot M_p \cdot \omega_p$, де h - коефіцієнт корисної дії АГ, також визначається ситуаційною швидкістю вітру, M_p - момент на валу рушія, ω_p - швидкість обертання рушія. Енергетична стійкість автономної асинхронної генераторної установки полягає в тому, що потужність, яку генерує АГ, повинна зрівноважуватися потужністю навантаження, тобто навантаження споживачів повинне змінюватися в залежності від ситуаційної потужності вітру.

Тому основна ідея роботи полягає у наступному:

1. Пропонується розділити споживачі електроенергії, які живляться від автономної асинхронної генераторної установки за пріоритетами на три класи:

а) споживачі з високими вимогами до якості електроенергії на рівні стандартів, які діють у електричних мережах і працюють як від енергії рушія, так і від електричного акумулятора, що забезпечить гарантоване їх живлення;

б) споживачі з низькими вимогами до частоти та форми напруги, наприклад, освітлювальні мережі та нагрівальні установки;

в) акумулятори, які здатні споживати надлишок електричної енергії, коли електричний акумулятор повністю заряджений.

2. Крім керування напругою, пропонується здійснювати ситуаційне керування енергетичним режимом автономної асинхронної генераторної установки, виходячи з умови відбору максимальної потужності від рушія, за дії випадкових збурень, з можливістю її акумулювання, за використання нечітких (fuzzy) регуляторів.

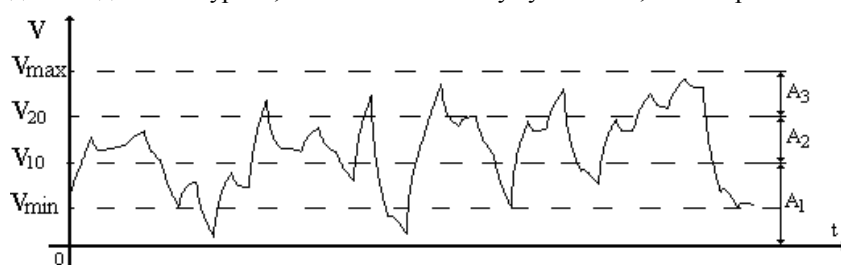


Рис.1. Швидкість вітру ВЕУ

ється рисунком 1.

Величини V_{\min} і V_{\max} визначають гранично можливі значення швидкості вітру безпечної експлуатації. Розділимо діапазон зміни V на три ділянки: A_1 - можуть бути ввімкнені споживачі класу «а»; A_2 - можуть бути ввімкнені споживачі класу «а» і «б»; A_3 - можуть бути ввімкнені всі споживачі класу «а», «б» і «в». Таким чи-

Під'єднання споживачів цих трьох типів слід здійснювати відповідно до енергії вітру, яка в даний час поступає у ВЕУ. Так як ця енергія пропорційна третьому степеню швидкості вітру, для її оцінки використовуватимемо саме цей показник. Звичайно швидкість вітру V_B в часі носить випадковий характер, який ілюстру-

ном, слід визначити граничні значення V_{10} і V_{20} , котрі розділяють зони A_1 і A_2 та A_2 і A_3 . Тим самим матимемо можливість здійснювати необхідні перемикання в системі відповідно до рівня ситуативної енергії вітру.

Знайдемо V_{10} і V_{20} з умови мінімуму функції ризику R . Якщо закони розподілу швидкості вітру в кожній з зон є $f(V/A_1)$, $f(V/A_2)$, $f(V/A_3)$ і вони перетинаються, то функція ризику може бути записана так:

$$R = C_{11}P_1 \int_{V_{\min}}^{V_{10}} f(V/A_1)dV + C_{12}P_2 \int_{V_{\min}}^{V_{10}} f(V/A_2)dV + C_{13}P_3 \int_{V_{\min}}^{V_{10}} f(V/A_3)dV + \\ + C_{21}P_1 \int_{V_{10}}^{V_{20}} f(V/A_1)dV + C_{22}P_2 \int_{V_{10}}^{V_{20}} f(V/A_2)dV + C_{23}P_3 \int_{V_{10}}^{V_{20}} f(V/A_3)dV + \\ + C_{31}P_1 \int_{V_{20}}^{V_{\max}} f(V/A_1)dV + C_{32}P_2 \int_{V_{20}}^{V_{\max}} f(V/A_2)dV + C_{33}P_3 \int_{V_{20}}^{V_{\max}} f(V/A_3)dV,$$

де: C_{ij} – вагові коефіцієнти матеріальних збитків внаслідок неправильного визначення V_{10} і V_{20} ; C_{ii} – «призові» коефіцієнти за умови правильного визначення V_{10} і V_{20} ; P_1, P_2, P_3 – апіорні імовірності перебування швидкості вітру у зонах A_1, A_2, A_3 відповідно.

Знайдемо V_{10} і V_{20} з умови мінімуму функції ризику:

$$\begin{cases} \frac{\partial R}{\partial V_{10}} = C_{11}P_1 f(V_{10}/A_1) + C_{12}P_2 f(V_{10}/A_2) + C_{13}P_3 f(V_{10}/A_3) - \\ - C_{21}P_1 f(V_{10}/A_1) + C_{22}P_2 f(V_{10}/A_2) + C_{23}P_3 f(V_{10}/A_3) = 0, \\ \frac{\partial R}{\partial V_{20}} = C_{21}P_1 f(V_{20}/A_1) + C_{22}P_2 f(V_{20}/A_2) + C_{23}P_3 f(V_{20}/A_3) - \\ - C_{31}P_1 f(V_{20}/A_1) - C_{32}P_2 f(V_{20}/A_2) - C_{33}P_3 f(V_{20}/A_3) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Якщо вважати закони розподілу нормальними, тобто

$$f(V/A_1) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-\bar{V}_1)^2}{2\sigma_1^2}}, \quad f(V/A_2) = \frac{1}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-\bar{V}_2)^2}{2\sigma_2^2}}, \quad f(V/A_3) = \frac{1}{\sigma_3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-\bar{V}_3)^2}{2\sigma_3^2}},$$

то на основі (1) отримаємо систему нелінійних алгебраїчних рівнянь, котрі можна розв'язати, наприклад, методом Ньютона. При цьому початок ітераційного процесу можна починати від $V_{10}^{(0)} = \frac{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}{2}$; $V_{20}^{(0)} = \frac{\bar{V}_2 + \bar{V}_3}{2}$

(тут $\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3$ - математичні сподівання V в зонах A_1, A_2, A_3 відповідно.)

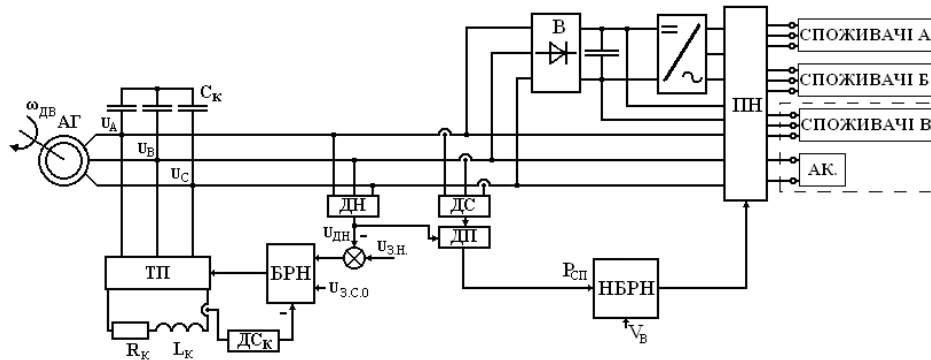


Рис.2. Функціональна схема автономного асинхронного генератора з ТКРП

тора, напруги АГ та потужності навантаження. Зворотні зв'язки за відповідними координатами реалізовані за допомогою давачів: струму компенсатора (ДСк), напруги на затискачах АГ (ДН) і потужності (ДП). Керування відповідними координатами здійснюється за допомогою блока регулювання напруги (БРН), до складу якого входить регулятор струму (РС) та регулятор напруги. Сигналом $U_{3.0}$ виставляють початковий струм ТКРП, величина якого залежить від запасу АГ за напругою, а сигналом $U_{3.N}$ - величину напруги на виході АГ. Для споживачів першої категорії в системі передбачений інвертор (ІН) з ланкою постійного струму (В), який, зокрема, служить і для заряду електричного акумулятора (АК). Ситуаційне керування реалізує нечіткий регулятор потужності навантаження (НБРН) у функції сигналу, пропорційного швидкості вітру (V_b) і потужності навантаження (P) з давача потужності ДП.

Розробка НБРН з нечіткою логікою типу Sugeno здійснено за наступним алгоритмом. Вхідними величинами НБРН з нечіткою логікою є сигнали з давача вітру і з давача потужності навантаження (ДП), а вихідни-

На рис.2 показана функціональна схема автономного асинхронного генератора, у якому керування напруги здійснюється за використання тиристорного компенсатора реактивної потужності (ТКРП) з $R_k L_k$ навантаженням. В системі передбачена можливість регулювання наступних координат: струму компенсатора

ми величинами – вектор-сигнал керування блоком перемикавання навантаження (БП), який буде здійснювати перемикавання груп споживачів для забезпечення відбору максимальної енергії від рушія з можливістю її акумулювання (рис.3).

Результати моделювання системи з класичною системою регулювання дозволяють визначити інтервали зміни вхідних та вихідних величин. Вхідний сигнал “**Vв**” (швидкість вітру) змінюється в інтервалі [0,20]м/с, інтервал зміни вихідної величини “**Рсп**” (сумарна потужність споживачів) [0,100] %. Вхідній змінній “**Vв**” відповідає чотири лінгвістичних терми: 0-V_{min}, V_{min} – V₁₀, V₁₀ – V₂₀, V₂₀ – V_{max}. Форма термів приймається трапецієподібною. Остаточно прийняті для лінгвістичних змінних “**Вхідний сигнал**” функції приналежності зображені на рис.4,а. Вхідній змінній “**Рсп**” відповідає три лінгвістичних терми: Р_{сп1}, Р_{сп2}, Р_{сп3}. Форма термів приймається трапецієподібною. Функції приналежності, остаточно прийняті для лінгвістичних змінних “**Рсп**”, зображені на рис.4,б.

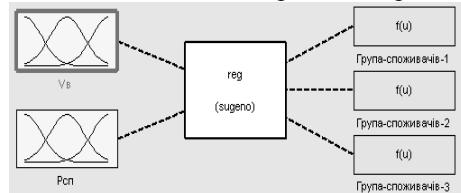


Рис.3. Структура НБРН

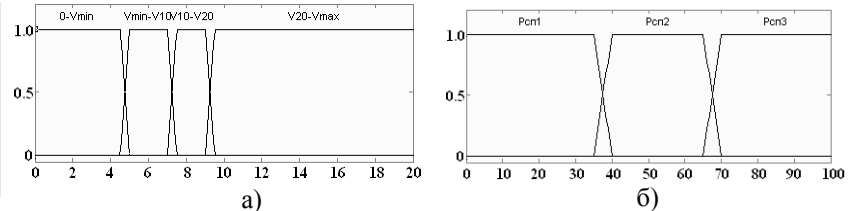


Рис.4. Функції приналежності нечіткого регулятора напруги для вхідних змінних

Вихідній змінній “**Vв**” відповідають наступні терми (набори коефіцієнтів): .

MF1='0-Vmin':trapmf,[0 0 4.5 5];
 MF2='Vmin-V10':trapmf,[4.5 5 7 7.5];
 MF3='V10-V20':trapmf,[7 7.5 9 9.5];
 MF4='V20-Vmax':trapmf,[9 9.5 20 20].

Вихідній змінній “**Рсп**” відповідають наступні терми (набори коефіцієнтів): .

MF1='Pcn1':trapmf,[0 0 35 40];
 MF2='Pcn2':trapmf,[35 40 65 70];
 MF3='Pcn3':trapmf,[65 70 100 100].

Вихідним змінним “**Група споживачів 1**” (35% від Р_{ном}), “**Група споживачів 2**” (35% від Р_{ном}), “**Група споживачів 3**” (30% від Р_{ном}), відповідають два терми (набори коефіцієнтів): OFF (група відімкнена), ON (група ввімкнена).

Правила, які наведені в таблиці, складаються на основі інтуїтивних знань експерта.

Параметри НБРН вибрані шляхом моделювання основних динамічних режимів - стрибкоподібної зміни навантаження. База правил НБРН з нечіткою логікою наведена в таблиці.

Таблиця 1 - Нечіткі правила

	Рсп		
	Рсп1	Рсп2	Рсп3
Vв			
0-Vmin	1 0 0	1 0 0	1 0 0
Vmin-V10	1 0 0	1 0 0	1 0 0
V10-V20	1 1 0	1 1 0	1 1 0
V20-Vmax	1 1 1	1 1 1	1 1 1

Для аналізу запропонованої САК напругою автономного асинхронного генератора розроблена структурна схема в програмному середовищі MATLAB Simulink з застосуванням генератора збурень. Проведені комп’ютерні дослідження системи в різних режимах роботи, які показали працездатність запропонованої САК.

Висновки. Запропонований спосіб ситуаційного керування вітроенергетичною установкою як недетермінованим об’єктом, виходячи з умови відбору максимальної енергії від рушія з можливістю її акумулювання за використання нечітких регуляторів, забезпечує суттєве підвищення коефіцієнту використання ВЕУ.

Література.

1. Марущак Я. Ю., Копчак Б. Л. Вибір раціонального варіанту системи автоматичного регулювання напруги асинхронного генератора з самозбудженням. – Технічна електродинаміка. Київ: НАН України. – 2002. - Тем. вип. “Проблеми сучасної електротехніки” Ч.5. – С.- 22-26.

2. Леоненков В.А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.-СПб.:БХВ-Петербург, 2003.- 736 с.: ил.