

УДК 621.311:681.5

Ю.О. ВАРЕЦЬКИЙ (д-р техн.наук, проф), **О.М. РАВЛИК** (канд.техн.наук),
В.С. КОНОВАЛ (канд.техн.наук, доц.), **Я.С. ПАЗИНА**
 Національний університет «Львівська політехніка»
j.varetsky@gmail.com volodymyr.konoval@eleks.com

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ВІТРОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЗА КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ РІЗНОТИПНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРІВ

Розроблена математична модель і досліджено електромагнітні і електромеханічні процеси вітрової електростанції за комплексного використання синхронних і асинхронних вітрогенераторів.

Ключові слова: вітрова електростанція, асинхронний вітрогенератор, математична модель, електромагнітні процеси, електромеханічні процеси.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток електроенергетики передбачає все більше використання так званих нетрадиційних джерел електроенергії. В першу чергу це стосується будівництва вітрових електростанцій (ВЕС), для формування яких використовується велика кількість різновидів вітрогенераторів, які умовно можна розділити на два типи: а) побудовані на базі синхронних генераторів; б) на базі асинхронних генераторів. Використання і одних, і других пов'язано з певними проблемами. В першу чергу це стосується ціни і простоти експлуатації по відношенню до перших, забезпечення необхідних регулювальних характеристик і, як наслідок, електромагнітної сумісності і надійності по відношенню до других.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. В літературі зустрічається багато публікацій, присвячених темі забезпечення надійності електропостачання споживачів за наявності різних нетрадиційних джерел енергії. Через брак найважливіших копалин енергетичних ресурсів та екологічні питання енергія вітру є дуже важливим ресурсом для виробництва електроенергії. Малі вітряні турбіни, фотоелектричні системи, паливні елементи в малому масштабі є основними ресурсами для розподілених систем генерування. Для віддалених територій енергія вітру поруч з фотоелектричними системами може об'єднуватися в гібридні системи з метою надання необхідної електроенергії споживачам [1]. Ця система повинна бути сконструйована таким чином, щоб попит навантаження віддалених районів покривався з максимальною надійністю. Для цього використовують різні комбінації, наприклад, дизель-генератор з вітрогенератором; вітрові станції, сонячні станції та паливні елементи [2-4] та інше.

Постановка задачі. В даній статті розглянуто питання комплексного використання позитивних характеристик обох типів вітрогенераторів (асинхронного та синхронного). Для цього розроблена математична модель і досліджено електромагнітні і електромеханічні процеси ВЕС з двома типами вітрогенераторів в умовах паралельної роботи з традиційною електричною мережею (ЕМ) і в автономному режимі.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до системного підходу узагальнена математична модель для аналізу електромагнітних процесів в ЕМ з ВЕС сформована у вигляді системи рівнянь [5]

$$\mathbf{L}_{eK} d\mathbf{i}_{eK}/dt = \mathbf{\Gamma}(\mathbf{e} - \mathbf{R}\mathbf{i} - \mathbf{u}_c, \mathbf{0}); \quad (1)$$

$$\mathbf{i}_e = \mathbf{\Gamma}_t \mathbf{i}_{eK}; \quad (2)$$

$$\mathbf{C} d\mathbf{u}_c / dt = \mathbf{i}, \quad (3)$$

де $\mathbf{L}_{eK} = \mathbf{\Gamma} \mathbf{L}_e \mathbf{\Gamma}_t = \mathbf{\Gamma} \begin{vmatrix} \mathbf{L} & \mathbf{M}_{eM} \\ \mathbf{M}_{eM} & \mathbf{L}_{eM} \end{vmatrix} \mathbf{\Gamma}_t$ – матриця контурних параметрів;

$\mathbf{i}_e = (\mathbf{i}, \mathbf{i}_{eM})$ – узагальнений вектор еквівалентних струмів для електричних і магнітних кіл, формується на основі математичних моделей базових елементів згідно створеної розрахункової схеми.

Еквівалентна система рівнянь (1)–(3) описує стаціонарний стан ЕМ і ВЕС. Для відтворення зміни стану у загальному випадку цю систему необхідно доповнити рівняннями:

$$\mathbf{e} = \begin{cases} const; \\ f(\omega, t); \\ f(\mathbf{i}, d\mathbf{i}/dt, \mathbf{u}, d\mathbf{u}/dt, t); \end{cases} \quad (4)$$

$$\mathbf{R} = \begin{cases} const; \\ f(\mathbf{i}, \mathbf{u}, d\mathbf{i}/dt, t); \end{cases} \quad (5)$$

$$\mathbf{L}_e = \begin{cases} const; \\ f(\mathbf{i}_e, d\mathbf{i}_e/dt, t); \end{cases} \quad (6)$$

$$C = \begin{cases} const; \\ f(\mathbf{u}_c, d\mathbf{u}_c/dt, \mathbf{i}, t), \end{cases} \quad (7)$$

які відтворюють зміну е.р.с. і параметрів елементів ЕМ і ВЕС від координат режиму та їх похідних і в часі. Отже, система рівнянь (1)–(7) є більш повною і дозволяє відтворити не тільки стаціонарний стан ЕМ і ВЕС, але можливі зміни цього стану як у нормальному, так і в аварійних режимах.

Математичні моделі для відтворення електромагнітних і електромеханічних процесів у вітрогенераторах сформовані згідно систем рівнянь, приведених у [6].

Розрахункова схема, яка реалізує математичні моделі елементів ЕМ і ВЕС [5, 6] сформована на основі [7] приведена на рис. 1.

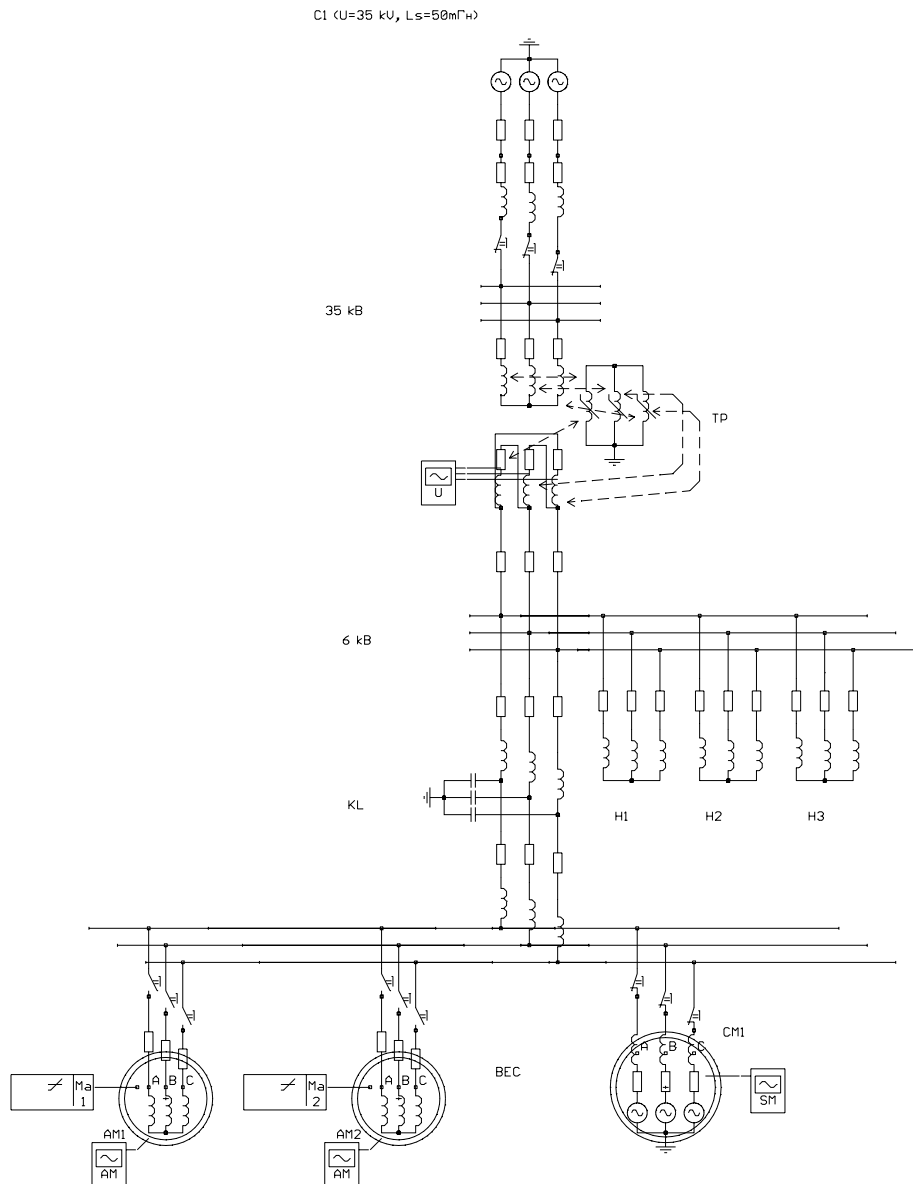


Рисунок 1 - Розрахункова схема ЕМ і ВЕС

Для прикладу розглядається ЕМ 35 кВ, що зв'язана з місцевим навантаженням через трансформатор потужністю 16 МВА і кабельною лінією напругою 6 кВ з ВЕС. Схема ВЕС складається з синхронного вітрогенератора потужністю 1,6 МВт і двох асинхронних вітрогенераторів по 5 МВт. Розрахункова схема синхронного вітрогенератора має вбудовані регулятори швидкості обертання вітрової турбіни і регулятор напруги (збудження) пропорційної дії. Моделювання регулювання потужності асинхронних вітрогенераторів у вигляді звичайних асинхронних машин з короткозамкненим ротором здійснювалось за допомогою спеціальних функцій.

На рис. 2 приведені модельні осцилограми координат стаціонарного режиму роботи синхронного вітрогенератора на місцеве навантаження за наявності зв'язку з мережею 35 кВ, пуску розкручених до

підсинхронної швидкості і завантаження до P_H асинхронних вітрогенераторів, подальшого розвантаженням їх до $0,25 P_H$ після втрати зв'язку з ЕМ 35 кВ і роботи ВЕС в автономному режимі на місцеве навантаження.

Як видно з осцилограм, комбіноване використання синхронних і асинхронних вітрогенераторів дозволяє забезпечити нормальне живлення навантаження як за наявності зв'язку з ЕМ, так і в умовах його втрати без використання конденсаторних батарей і різноманітних перетворювальних пристроїв для асинхронних вітрогенераторів. Проведені дослідження показали, що навіть за повної втрати навантаження можна забезпечити живучість ВЕС за рахунок переведення асинхронних вітрогенераторів в режим асинхронних двигунів з мінімальним навантаженням для синхронного вітрогенератора. Це стосується також режимів в умовах дії АПВ ліній, що з'єднують ВЕС і навантаження.

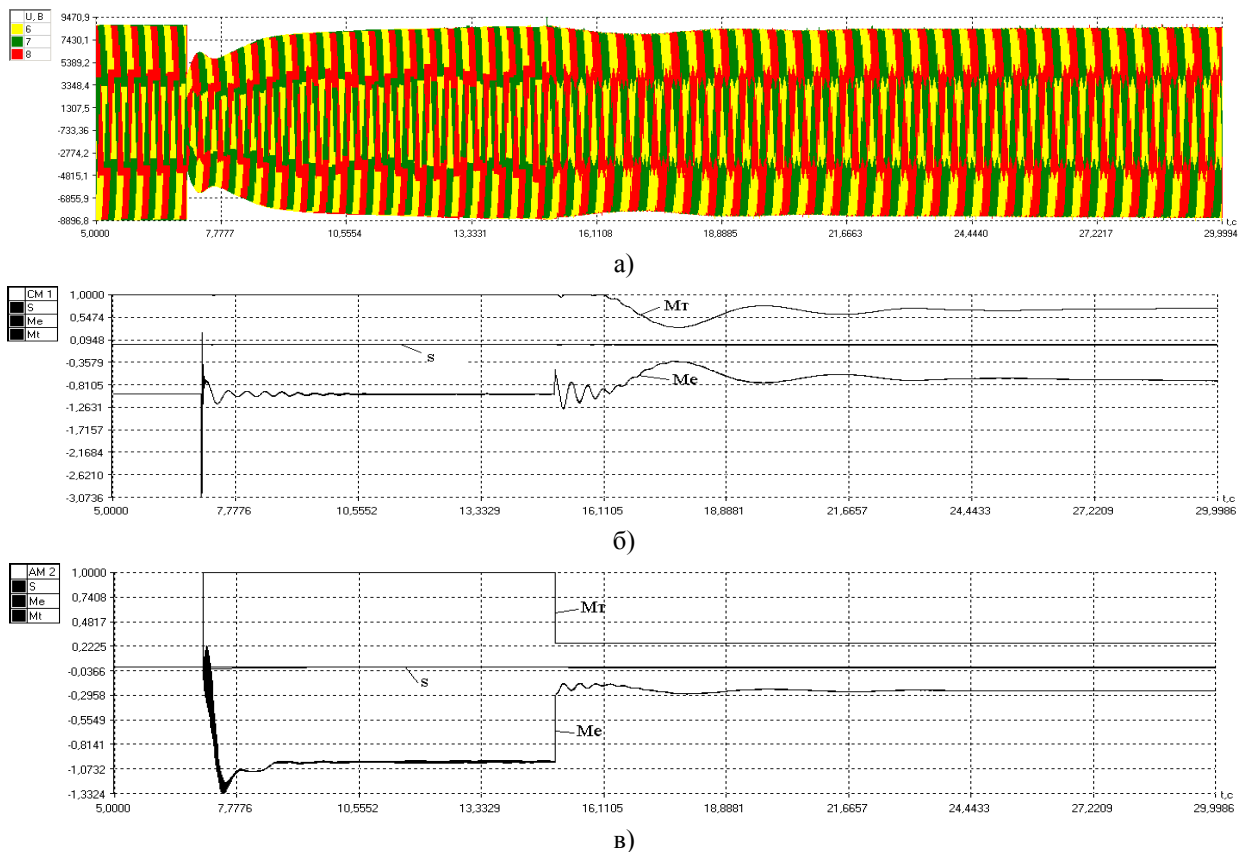


Рисунок 2 - Модельні осцилограми координат ЕМ і ВЕС з комбінованим використанням синхронних і асинхронних вітрогенераторів для характерних умов ведення режиму:

- а) лінійні напруги мережі 6 кВ;
 б) ковзання, електричний і механічний моменти синхронного вітрогенератора;
 в) ковзання, електричний і механічний моменти одного з асинхронних вітрогенераторів

Висновки. На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки щодо комплексного використання синхронних і асинхронних вітрогенераторів: дозволяє забезпечити необхідні вимоги щодо основних показників – співвідношення ціни, якості та надійності електропостачання від ВЕС; використовувати в вітрогенераторах асинхронні машини традиційної конструкції без спеціалізованих перетворювальних пристроїв для забезпечення необхідних режимів регулювання; забезпечити живучість ВЕС навіть за умови повної втрати навантаження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Manfred Stiebler. Wind Energy Systems for Electric Power Generation //Springer Series in Green Energy and Technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2008. – 193 p.
2. Patsios C. A Hybrid Maximum Power Point Tracking System for Grid-Connected Variable Speed Wind-Generators / C. Patsios, A. Chaniotis, A. Kladas // Power Electronics Specialists Conference, 15-19 June 2008.- PESC 2008. IEEE.- 2008.- P.- 1749 – 1754.
3. Shirazi M., Viki A.H., Babayi O. A Comparative Study of Maximum Power Extraction Strategies in PMSG Wind Turbine System / M. Shirazi, A.H. Viki, O. Babayi // Electrical Power & Energy Conference (EPEC), 22-23 Oct. 2009 IEEE.- 2009.- pp.1-6.

4. Molina, M.G. A new control strategy of variable speed wind turbine generator for three-phase grid-connected applications / M.G. Molina, P.E. Mercado // Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 13-15 Aug. 2008 IEEE/PES.- 2008.- P. 1 – 8.

5. Равлик О.М. Комплексний підхід до формування математичних моделей елементів електричних мереж, пристроїв захисту й автоматики / О. М. Равлик // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету "Електротехніка і енергетика". – 2008. – № 8(140). – С. 114–117.

6. Равлик О.М. Моделі електричних машин для дослідження процесів в електричних мережах / О.М. Равлик // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2009. – № 654. – С. 181–191.

7. Равлик О.М. Цифровий комплекс для аналізу роботи та проектування пристроїв релейного захисту й автоматики / О.М. Равлик, Т.М. Гречин, В.Й. Іваноньків // Вісник ДУ "ЛП", Електроенергетичні та електромеханічні системи. - 1997. - № 340. - С. 96-101.

REFERENCES

1. Manfred Stiebler. Wind Energy Systems for Electric Power Generation //Springer Series in Green Energy and Technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. 193 p.

2. Patsios C., Chaniotis A., Kladas A. A Hybrid Maximum Power Point Tracking System for Grid-Connected Variable Speed Wind-Generators, Power Electronics Specialists Conference, 15-19 June 2008. PESC 2008. IEEE. 2008; 1749 – 1754.

3. Shirazi M., Viki A.H., Babayi O. A Comparative Study of Maximum Power Extraction Strategies in PMSG Wind Turbine System, : Electrical Power & Energy Conference (EPEC), 2009 IEEE, 22-23 Oct. 2009. 2009; 1-6.

4. Molina, M.G.; Mercado, P.E.; A new control strategy of variable speed wind turbine generator for three-phase grid-connected applications, Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 13-15 Aug. 2008, IEEE/PES. 2008; 1 – 8.

5. Ravlyk O.M. The integrated approach to mathematical models formation of electrical networks elements, protection devices and automation. DVNZ "DonNTU". 2008; 8(140): 114-117

6. Ravlyk O.M. The electrical machines models for studying the processes in electrical networks. Visnyk Nacionalnogo universytetu "Lvivska politechnika" "Elektroenergetychni ta elektromechanichni systemy". 2009; 654: 181–191.

7. Ravlyk O.M., Hrechyn T.M., Ivanonkiv V.J. Digital system for work analysis and design of relay protection and automation. DULP "Elektroenergetychni ta elektromechanichni systemy". 1997; 340: 96-101.

Надійшла до редакції 22.02.2013

Рецензент: Сивокобиленко В.Ф.

Ю.О. ВАРЕЦКИЙ, А.М. РАВЛЫК, В.С. КОНОВАЛ, Я.С. ПАЗЫНА
Национальный университет «Львовская политехника»

Анализ режимов ветровой электростанции при комплексном использовании разнотипных ветрогенераторов. Разработана математическая модель и исследовано электромагнитные и электромеханические процессы ветровой электростанции при комплексном использовании синхронных и асинхронных ветрогенераторов.

Ключевые слова: ветровая электростанция, асинхронный ветрогенератор, синхронный ветрогенератор, математическая модель, электромагнитные процессы, электромеханические процессы.

Y. VARETSKY, O. RAVLYK, V. KONOVAL, Y. PAZYNA
National University Lviv Politechnik

Analysis of Wind Power Modes During the Integrated Using of Different Wind Turbines Types. In this article it was considered the issue of integrated using the positive characteristics of both wind generators types (asynchronous and synchronous). For this developed the mathematical model and studied electromagnetic and electromechanical processes WPP with two types of wind generators in parallel operation with the traditional electric grid (EG) and offline. According to the simulation results, it was found that combined using of synchronous and asynchronous wind generators ensures normal power load as if due to EG, and in terms of its losses without capacitor and various converting devices for asynchronous wind generators. Studies have shown that even with a full load losses can ensure survival WPP through transfer asynchronous wind generator to mode of asynchronous engines with minimal load for synchronous wind turbine.

Key words: wind power farm, induction generator, synchronous generator, mathematic model, electromagnetic processes, electromechanical processes.