

Технічні науки

УДК 621.313.322

**Хоменко Віталій Іванович**

*кандидат технічних наук, викладач,  
заступник завідувача відділенням IV курсу  
Придніпровський державний металургійний коледж*

**Хоменко Виталий Иванович**

*кандидат технических наук, преподаватель,  
заместитель заведующего отделением IV курса  
Приднепровский государственный металлургический колледж*

**Khomenko Vitalii**

*Candidate of Technical Sciences, Lecturer,  
Deputy Head of Department of IV Course  
Prydniprovsky State Metallurgical College*

**Нізімов Віктор Борисович**

*доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри електротехніки та електромеханіки  
Дніпровський державний технічний університет*

**Низимов Виктор Борисович**

*доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой электротехники и электромеханики  
Днепровский государственный технический университет*

**Nizimov Viktor**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of Electrotechnics and Electromechanics Department  
Dniprovsky State Technical University*

**ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА РЕЖИМІВ ФОРСУВАННЯ  
ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОЇ  
ГЕНЕРУЮЧОЇ УСТАНОВКИ  
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЖИМОВ ФОРСИРОВКИ  
ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОЙ  
ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ  
COMPARATIVE EVALUATION OF FORMATION MODES  
EXCITATION OF SYNCHRONOUS GENERATOR BY AUTONOMOUS  
GENERATING UNIT**

*Анотація.* Розглянуто вплив ємнісної компенсації інерційності контуру збудження синхронного генератора на режими форсування автономної генеруючої установки.

*Ключові слова:* режими форсування, автономна генеруюча установка, ємнісна компенсація.

*Аннотация.* Рассмотрено влияние емкостной компенсации инерционности контура возбуждения синхронного генератора на режимы форсирования автономной генерирующей установки.

*Ключевые слова:* режимы форсирования, автономная генерирующая установка, емкостная компенсация.

*Summary.* Influence of capacity indemnification inertance is considered to the contour excitation of synchronous generator on force mode the autonomous generating unit.

*Key words:* the force mode, autonomous generating unit, capacity indemnification.

Одним з важких режимів роботи синхронних генераторів (СГ) автономних генеруючих установок (АГУ) є підключення споживачів сумірної потужності, у результаті чого генератори втрачають стійкість

через інерційність обмотки збудження (ОЗ), значного динамічного падіння напруги та її тривалості. Це призводить до виключення споживачів навіть при наявності відомих способів і пристроїв форсування напруги збудження. Крім того, АГУ часто використовується в якості резервного джерела електроживлення для споживачів I та II категорії [1].

Наприклад, на виробничій базі птахофабрики «Оріль-Лідер» у цеху забою та переробки курчат-бройлерів вихід готової продукції становить 9500 голів на одну годину, а вихід відходів забійного цеху та пташиного посліду складає 10,6 тонни на одну годину. Перерва електроживлення лише на одну хвилину призведе до порушення технологічного процесу, недовідпуску у кількості 160 голів курчат-бройлерів та накопичення відходів – 176 кг.

Тому для забезпечення безперервності електроживлення комплексу на птахофабриці встановлено в якості резервного джерела 24 АГУ потужністю від 600 до 1000 кВт [2].

Таким чином підвищення стійкості та стабілізація вихідної напруги АГУ є актуальною задачею.

**Постановка задачі.** Теоретичне та експериментальне дослідження режимів форсування збудження синхронного генератора АГУ з метою підвищення стійкості та стабілізації вихідної напруги генератора шляхом компенсації інерційності обмотки збудження при значних збуреннях.

**Результати роботи.** Незважаючи на високу швидкодію тиристорних збуджувачів через інерційність контуру збудження СГ відбувається аперіодичне запізнювання струму збудження, що часто є причиною втрати стійкості генератора. Тому підвищення швидкодії режимів форсування збудження досягається за рахунок застосування випереджаючої фази напруги збудження і підвищення її кратності. Крім того, підвищення швидкодії режиму форсування може досягатися

за рахунок зменшення інерційності каналів виміру і керування напругою.

Для оцінки впливу ємнісних накопичувачів енергії (ЄНЕ) на швидкодію режимів форсування та на вихідні параметри СГ АГУ виконуємо порівняльні розрахунки.

Рівняння електричної рівноваги для некомпенсованого контуру збудження СГ АГУ в режимі форсування при наявності початкового струму збудження.

$$U_L + U_R = U_{f\phi} + U_{f0}. \quad (1)$$

Виразимо напруги через струм контуру збудження:

$$L_f \frac{di_{f\phi}}{dt} + i_{f\phi} R_f = U_{f\phi} + U_{f0},$$

$$i_{f\phi} = \left( \frac{1}{T_f s + 1} \right) \frac{U_{f\phi}}{R_f} + \frac{U_{f0}}{R_f}, \quad (2)$$

де  $T_f = \frac{L_f}{R_f}$  – постійна часу контуру збудження.

Представимо вираз струму збудження у вигляді схеми набору моделі (рис.1).

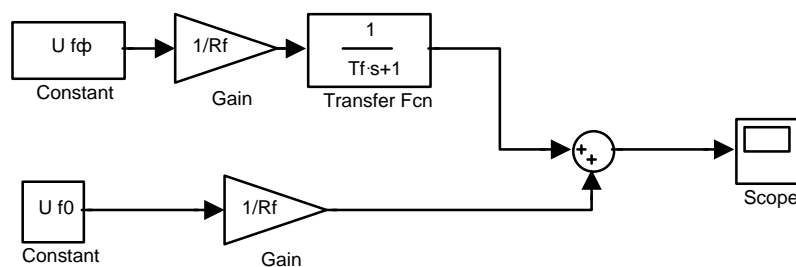


Рис. 1. Схема набору моделі некомпенсованого контуру збудження СГ

Джерело: розробка автора

Рівняння напруг при розряді конденсатора в контурі збудження при наявності початкового струму має вигляд [3, с. 111-116]:

$$U_R + U_L + U_C = U_{f0} \quad (3)$$

Виразимо всі величини через струм  $i_f$ :

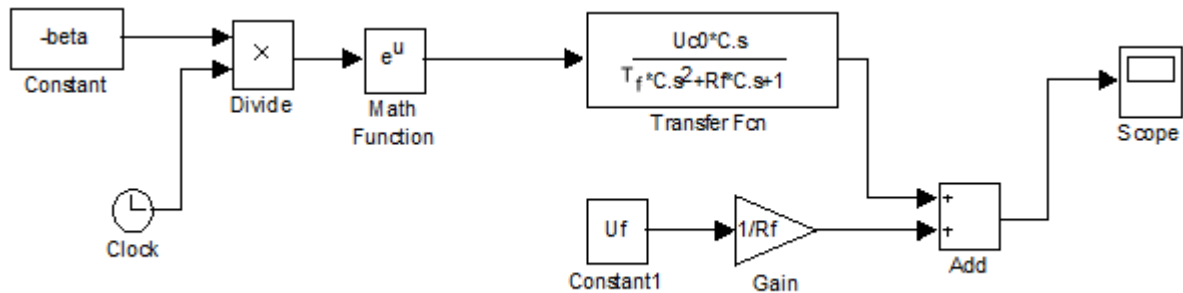
$$i_f R_f + L_f p i_f + \frac{1}{cp} i_f = U_{f0} \quad (4)$$

початкові умови:  $i_f = \frac{U_f}{R_f}$ ,  $U_c = U_{c0} \cdot e^{-\beta t}$ ,  $\beta = \frac{R_f}{2L_f}$ .

Після перетворень отримаємо залежність струму від величини напруги ємнісного накопичувача

$$i_f = U_{c0} \cdot e^{-\beta t} \cdot \frac{cp}{T_f cp^2 + R_f cp + 1} + i_{f0}. \quad (5)$$

Представимо вираз струму збудження у вигляді схеми набору моделі (рис.2).



**Рис. 2. Схема набору моделі компенсованого контуру збудження СГ при наявності струму збудження**

*Джерело: розробка автора*

Аналіз режимів форсування струму збудження СГ дає підстави для визначення алгоритму керування контуром збудження [3, с. 111-116; 4, с. 49-50]: при  $t > 0$  і  $p i_f = 0$ , необхідно вивести конденсатор із контуру збудження, при цьому  $U_f = U_{f\phi}$  і  $X_L = X_C$ .

Результати математичних розрахунків режимів форсування струму збудження СГ по схемам набору наведені на рис.3, при кратності форсування: 1)  $K_i = 2,5$ ; 2)  $K_i = 2,0$ ; 3)  $K_i = 1,5$ . На рис.3,а наведені розрахункові залежності режиму форсування, що характерні для серійних тиристорних збуджувачів. На рис.3,б наведено

розрахункові залежності режимів збудження при наявності ЄНЕ та початкового струму збудження.

Аналіз розрахункових залежностей показує, що при некомпенсованому контурі (при кратності форсування  $K_i = 2,5$ ) максимальне значення струму збудження 50,0 А досягається лише за час 0,04 с, а при компенсованому контурі значення струму 52,2 А – за час 0,0015 с.

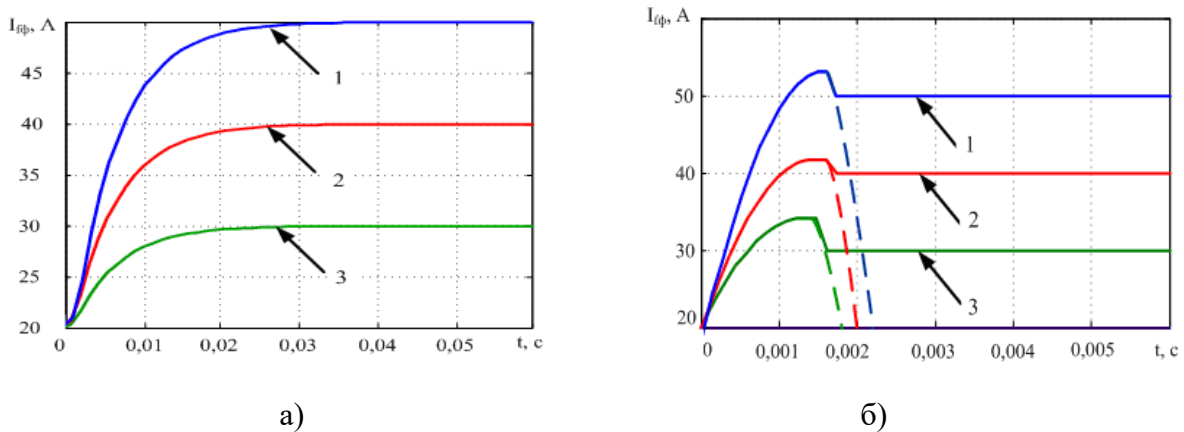


Рис. 3. Розрахункові залежності режимів форсування напруги збудження СГ: а) некомпенсованого контуру; б) компенсованого контуру

Для підтвердження теоретичних положень проведено експериментальні дослідження на синхронному генераторі типу МСА-72/4А:  $P_H = 12$  кВт;  $U_c = 230$  В;  $i_{1H} = 37,6$  А;  $U_{fH} = 27$  В;  $i_{fH} = 23$  А;  $n_H = 1500$  об/хв. в режимі форсування струму збудження з запропонованим пристроєм і з серійними тиристорними збуджувачами при підключенні споживачів співставної потужності (рис.4, 5).

На рис. 4 наведені осцилограми при підключенні АД потужністю 11 кВт до СГ з некомпенсованим контуром збудження, а на рис. 5 – осцилограми з компенсованим контуром збудження.

Таким чином, результати дослідження динамічних режимів роботи СГ типу МСА-72/4А доводять, що час досягнення струмом збудження форсованого значення з некомпенсованим контуром становить 1 с при падінні напруги 39 %, а з ємнісним накопичувачем енергії – 0,01 с.

Компенсація електромагнітної інерційності в тих же умовах забезпечує падіння напруги не більше 11 %.

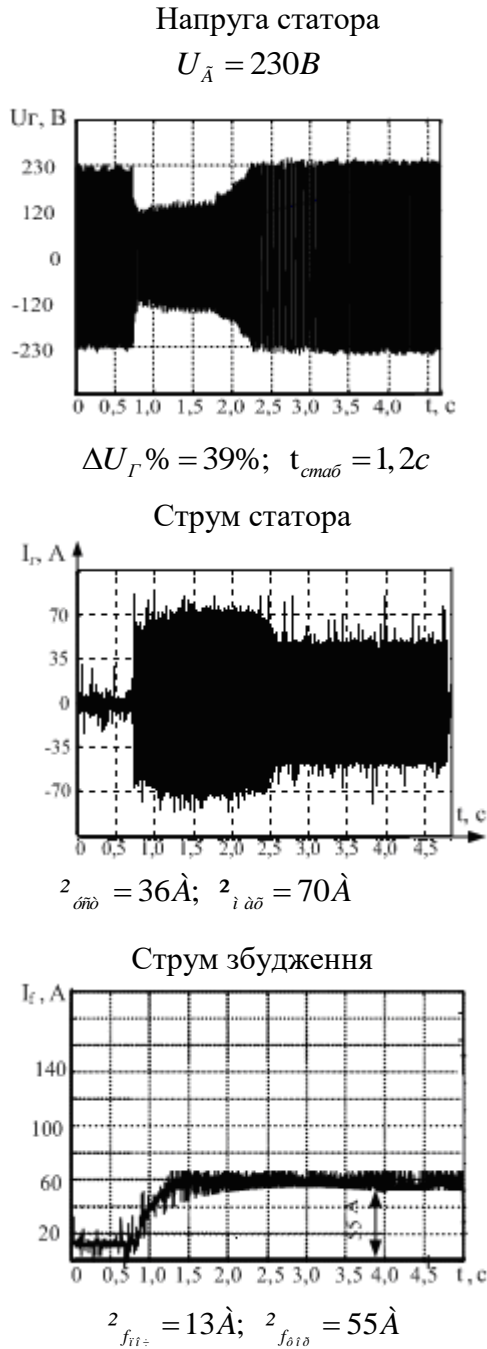


Рис. 4. Режим підключення АД до СГ з некомпенсованим контуром збудження

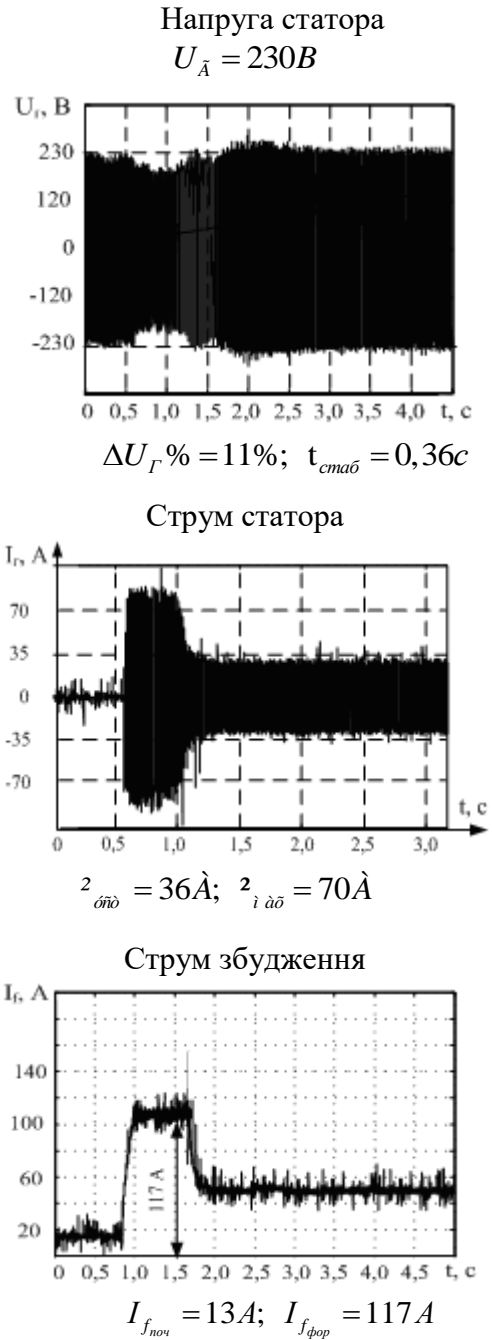


Рис. 5. Режим підключення АД до СГ з компенсованим контуром збудження

**Висновки.** Підвищення динамічної стійкості СГ АГУ при підключенні споживачів співставної потужності може бути забезпечено

ємнісною компенсацією інерційності контуру збудження шляхом вмикання ємнісних накопичувачів енергії.

### **Література**

1. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах электроснабжения / А. В. Праховник. – Київ : Освіта України, 2007. – 462 с.
2. Птахофабрика «ОРІЛЬ-ЛІДЕР» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mhp.com.ua/uk/operations/chaos-orelj-lider> (дата звернення: 02.03.2018).
3. Хоменко В.І. Енергообмінні процеси між контурами автономного синхронного генератора / В.І.Хоменко, В.Б.Нізімов // Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). Кам’янське, 2017. - Вип. 1 (30). - С. 111–116.
4. Нізімов В. Б. Підвищення стійкості автономної генеруючої установки при значних збуреннях / Нізімов В. Б., Количев С. В., Хоменко В. І. // Міжнародна науково-технічна та навчально-методична конференція. Збірник матеріалів конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS’17», 25-27 квітня, 2017 р. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ. – С. 49–50.