

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З КОМПЕНСОВАНИМ АСИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ ТА АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ СУМІРНОЇ ПОТУЖНОСТІ

***В. В. Козирський, доктор технічних наук,
Р. М. Чуєнко, кандидат технічних наук,
С. С. Макаревич, асистент***

Проведено експериментальні дослідження автономної системи електроживлення (АСЕЖ) з компенсованим асинхронним генератором та асинхронним електродвигуном сумірної потужності.

Автономна система електроживлення, компенсований автономний асинхронний генератор, асинхронний двигун, експериментальна установка.

Мета досліджень – за допомогою створеної лабораторної установки провести вивчення якісної картини дії фізичних процесів компенсованих асинхронних машин, отримання фактичних кількісних показників на реальній фізичній моделі, перевірка раніше отриманих результатів обчислювальних експериментів та підтвердження позитивних особливостей перед базовими машинами.

Матеріали та методика досліджень. У проблемній науково-випробувальній лабораторії кафедри електричних машин і експлуатації електрообладнання у співпраці із кафедрою електропостачання ім. проф. В. М. Синькова НУБіП України створено випробувальну лабораторну установку для експериментального дослідження компенсованих асинхронних машин АСЕЖ.

В АСЕЖ як приводний двигуна (ПД) для компенсованого асинхронного генератора застосовано двигун постійного струму незалежного збудження типу П41 з можливістю широкого і плавного регулювання швидкості. (рис. 1). У досліді компенсований автономний асинхронний генератор (КААГ) будь-якої модифікації за способом компенсації реактивної потужності і забезпеченню нею самого генератора створений на основі базового асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором 4А71В2 номінальною потужністю 1,1 кВт. При цьому, фаза обмотки статора генератора складається із двох однакових за числом витків паралельних напівобмоток, просторово зміщених у пазах сердечника одна відносно одної на кут $\Theta = -30^\circ$ з електричною ємністю C_Δ у розсічці однієї з них. Шунтування ємністю C_k додаткової напівобмотки КААГ дозволяє здійснювати форсування ємнісного збудження під час пуску робочого двигуна сумірної по-

тужності [4]. Як електромеханічне навантаження використано серійний асинхронний двигун 4A71A2 номінальною потужністю 0,75 кВт. Навантаженням робочого двигуна є навантажувальний генератор НГ з балансирною машиною для контролю і реєстрації моменту навантаження двигуна в усталеному режимі.

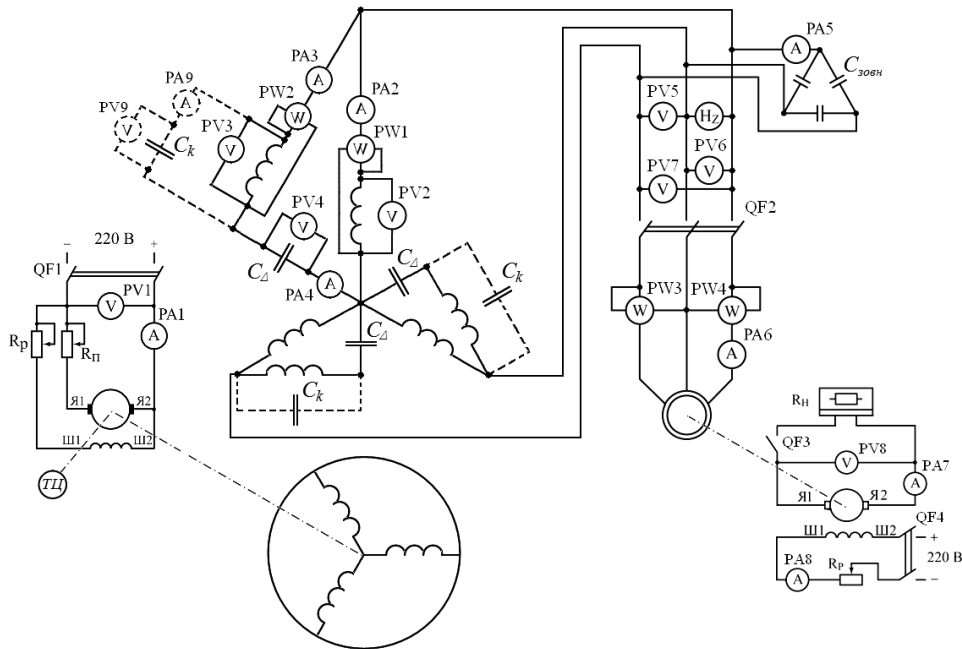


Рис. 1. Електрична схема лабораторної дослідної установки

Для порівняльної оцінки КААГ з базовою асинхронною машиною достатньо провести часткові випробування, що характеризують її основні властивості та особливості.

Випробувальний стенд лабораторної установки (див. рис. 1) містить різне за призначенням електрообладнання (таблиця, рис. 2) [3, 4].

Приводним двигуном (ПД) для досліджуваної у режимі генератора машини є двигун постійного струму типу П 41 номінальною потужністю 3,2 кВт і частотою обертання $n_H = 1500$ об/хв. Двигун з'єднаний з валом досліджуваного генератора через клинопасову передачу з передаточним числом рівним 2.

Асинхронний генератор виконаний на базі асинхронного двигуна типу 4A71B2 потужністю 1,1 кВт.

Вал асинхронного двигуна жорстко з'єднаний з валом навантажувального генератора (НГ) постійного струму типу П21 номінальною потужністю 1,5 кВт (частота обертання $n_H = 3000$ об/хв) за допомогою муфти. Навантажувальний генератор є елементом балансирної машини, станина статора якого виконана на двох стоякових підшипниках вала і може повертатися. Кут повороту станини здійснюється за рахунок навантаження (реостатом R_H) і обмежений стальними пружинами з боків. Стрілка на станині вказує на кут повороту залежно від величини гальмового моменту

НГ. Момент M на валу досліджуваного двигуна дорівнює сумі гальмового моменту M_z генератора і моменту ΔM на подолання втрат у ньому. Незалежне збудження обмотки статора генератора балансірної машини забезпечується від мережі постійного струму.

Перелік та технічні дані електрообладнання, що використовувалося при проведенні досліджень

№ з/п	Назва обладнання та приладів	Тип	Номінальна потужність, кВт
1	2	3	4
1	Компенсований автономний асинхронний генератор на базі серійного асинхронного електродвигуна	4A71B2	1,1
2	Електродвигун асинхронний	4A71A2	0,75
3	Приводний двигун постійного струму з балансірною машиною	П41У4	3,2
4	Генератор постійного струму	П21	1,5
5	Тахометр цифровий	ТЦ – 3М 0..8000 об/хв	–
6	Осцилограф	Metrix-3252	–
7	Модуль гальванічної розв'язки	SDI – AIU – 4U	–
8	Батареї електричних конденсаторів	КБГ-МН 400...600 В	–

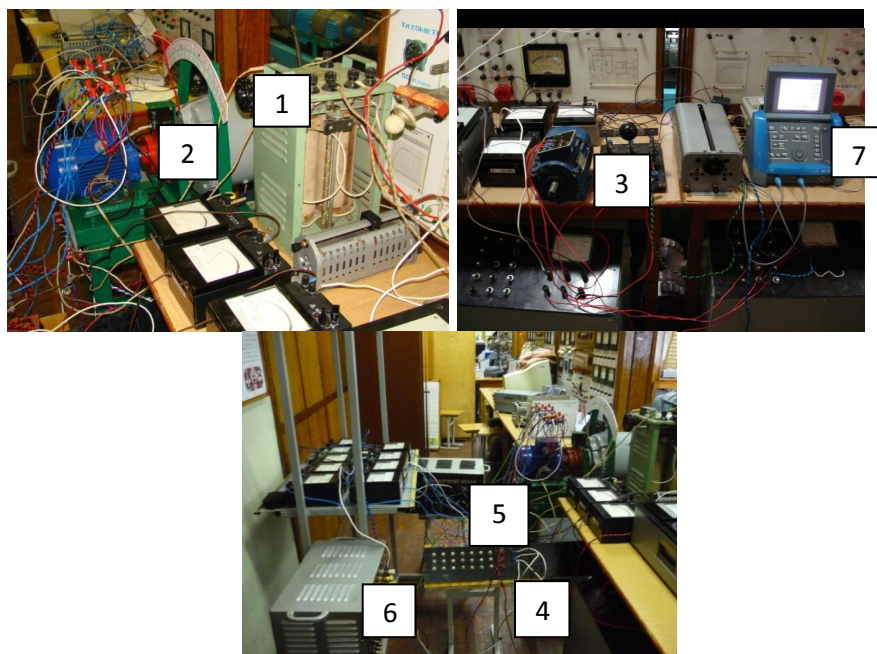


Рис. 2. Загальний вигляд експериментальної установки АСЕЖ з компенсованим асинхронним генератором та серійним асинхронним двигуном:
 1 – приводний двигун; 2 – асинхронний генератор; 3 – асинхронний двигун;
 4 – 6 – батареї електричних конденсаторів; 7 – осцилограф

Асинхронний двигун застосований як активно-індуктивне навантаження генератора.

Батареї електричних конденсаторів КБГ-МН на робочу напругу 400 і 600 В ємністю до 250 мкФ на фазу дозволяють регулювання ємності через 2 мкФ, магазин теплових елементів і реостатів.

Вимірювальні засоби представлені електровимірювальними комплектами К505, К506, набором амперметрів (Э 538, 539), вольтметрів (Э 545), ватметрів, трансформаторів струму (И54 М), цифровим тахометром (ТЦ – 3М до 8000 об/хв).

Для запису форми кривих напруги і струму статора генератора та двигуна використано осцилограф Metrix – 3252 з відповідним програмним забезпеченням та модулем гальванічної розв'язки SDI – AIU – 4U.

Дослідження електричних машин передбачають зняття характеристик холостого ходу, короткого замикання, робочих, пускових, теплових та вібро-акустичних [2].

Результати досліджень. Зазначимо деякі основні особливості характеристик компенсованих асинхронних машин (КАМ) у складі АСЕЖ.

Характеристика холостого ходу (х. х) асинхронних машин як залежність струму I_0 обмотки статора від напруги U знімається за відсутності навантаження – механічного на валу двигуна або електричного на виході генератора при постійній швидкості обертання ротора. При холостому ході у режимі двигуна швидкість обертання ротора знижується за рахунок механічних втрат, тобто стає меншою за швидкість обертання магнітного поля статора. Струм ротора, втрати потужності в обмотках ротора і сталі осердя наближаються до 0. Струм холостого ходу I_0 в обмотці статора визначає реактивну складову намагнічуючого струму I_μ та активну I_{0a} , що покриває втрати потужності. При малій напрузі ($0,1 \cdot U_n$ у режимі х. х) складно зберегти швидкість обертання ротора постійною. При цьому характеристика холостого ходу $U = f(I_0)$ відрізняється від типової кривої намагнічування $E = \varphi(I_\mu)$ асинхронної машини.

У досліді ідеального х. х приводний двигун розганяє ротор досліджуваної АМ зі швидкістю, що дорівнює швидкості обертання магнітного поля [1]. При цьому ЕРС обмотки ротора і струм дорівнюють нулю, відповідно втрати потужності в обмотці і сталі осердя ротора будуть відсутніми. Механічні і додаткові втрати потужності покриває привідний двигун. Тому струм обмотки статора I_0 у цьому випадку є мінімальним і наближеним до струму намагнічування I_μ , що створює основне магнітне поле, $I_0 \approx I_\mu$. Тільки невелика втрата напруги в обмотці статора $\Delta \dot{U}_0 = I_0(R_{10} + jX_{10})$ і втрати потужності $I_0^2(R_{10} + jX_{10})$ відрізняють напругу $\dot{U} = -\dot{E} + \dot{I}_0(R_{10} + jX_{10})$ від основної ЕРС і створюють кут зсуву фаз між $\dot{U}$ та $\dot{I}_0$ близький до 90° . За необхідності при заданих $U = \dot{U}$, R_{10} , X_{10} , вимірюваному струмі I_0 і втратах потужності $P_0 = I_0 \cdot U \cdot \cos \varphi_0$ можна уточню-

вати величину основної ЕРС E . При ідеальному х. х асинхронної машини $E = U$ характеристика х. х $U = f(I_0)$ наближена до характеристики кривої намагнічування $E = \varphi(I_\mu)$, оскільки струм холостого ходу практично дорівнює намагнічуючому, $I_0 \approx I_\mu$. Така крива намагнічення справедлива як для базової АМ, так і для всіх її модифікацій незалежно від схеми обмотки статора.

Наявність двох паралельних обмоток статора з ємністю в одній із них призводить до появи коливального контуру $L - C$ у КАМ. Відбувається обмін енергією між індуктивністю L та ємністю C навіть при х. х. [1]. Для КАМ справедлива крива намагнічування, що використовується при розрахунку характеристик, застосовуючи дані з дослідів ідеального х. х. базової АМ. Аналогічно для КАМ може бути прийнята і характеристика короткого замикання базової АМ. Тому в КАМ доцільно знімати експериментальні робочі характеристики методом безпосереднього навантаження.

Для роботи у режимі автономного асинхронного генератора (для забезпечення робочої частоти $f_1 \approx 50$ Гц і при роботі на загальну мережу з частотою 50 Гц) частота обертання вала генератора повинна бути $n \geq 3000$ об/хв. [4]. Частота струмів f_1 у статорі і f_2 у роторі зв'язані між собою співвідношенням $f_1 = \frac{f_2}{1 - S}$, де $S = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} < 0$ – ковзання генератора, $\omega = \omega_2 = \frac{\pi n}{30}$ (c^{-1}) – швидкість обертання ротора, $\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}$ – швидкість обертання магнітного поля статора.

Приводний двигун забезпечує роботу генератора: у режимі безпосереднього навантаження – на загальну мережу, а в автономному режимі – на власне навантаження.

При роботі генератора на електричну мережу безпосередньо чи за схемою робоча напруга і частота задані (фіксовані) мережею. Активне навантаження регулюють моментом і швидкістю обертання приводного двигуна. Значення механічної швидкості ротора, частоти, ЕРС і струму задаються приводним двигуном більшими, ніж швидкість обертання електромагнітного поля статора та його частоти, $\omega_2 > \omega_1$, $f_2 > f_1$, $S < 0$.

Для цього заздалегідь виконано переключення ємності C_Δ в обмотках статора. При цьому, в АСЕЖ асинхронний генератор призначений для забезпечення електроенергією статичних (у вигляді електричних опорів) і динамічних (наприклад, електродвигунів) споживачів.

При включенні компенсованого асинхронного генератора для роботи на загальну мережу враховано зміну знака кута Θ між основною і додатковою обмотками статора (рис. 3).

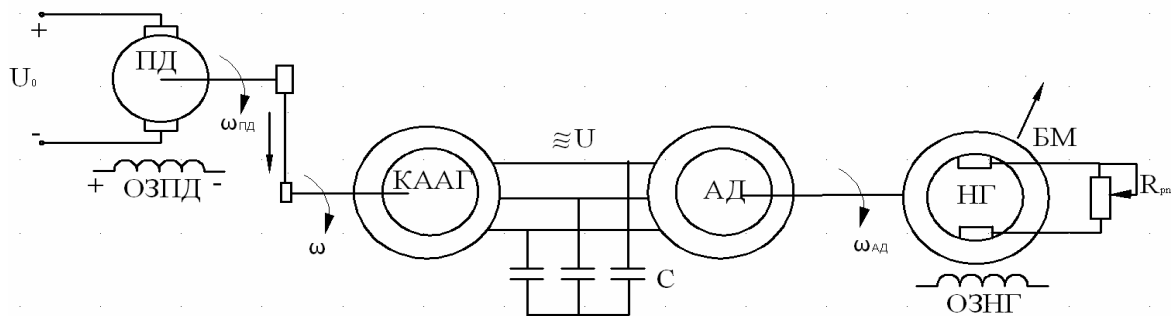


Рис. 3. Схема включення електричних машин у досліджуваному електро-механічному комплексі з асинхронними машинами різної модифікації.

Умовні позначення: ПД – приводний двигун, ОЗПД – обмотка збудження приводного двигуна, КААГ – компенсований автономний асинхронний генератор, АД – асинхронний двигун, НГ та БМ – відповідно навантажувальний генератор та балансирна машина, ОЗНГ – обмотка збудження навантажувального генератора, С – батарея конденсаторів, R_{pn} – регулювальний реостат

Для контролю швидкості приводного двигуна використовується цифровий тахометр. Контроль і реєстрація процесів, що протікають під час роботи АСЕЖ, здійснюється за допомогою осцилографа (зняття кривих напруг і струмів генератора, побудова зовнішніх характеристик).

Висновки

Розроблений спеціалізований стенд для експериментальних досліджень дозволив проводити випробування компенсованого асинхронного генератора та асинхронного двигуна автономного електромеханічного комплексу із заданими величинами зовнішньої та внутрішньої ємнісної компенсації. Як приводний був використаний двигун постійного струму незалежного збудження. Навантаженням асинхронного двигуна є навантажувальний генератор із балансирною машиною.

Список літератури

1. Вольдек А. И. Электрические машины / А. И Вольдек. – Л.: Энергия, 1976. – 782 с.
2. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г.К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 407 с.
3. Компенсовані асинхронні машини: монографія / [В. І. Мішин, В. В. Каплун, Р. М. Чуєнко та ін.]. – К.: КНУТД, 2012. – 220 с.
4. Макаревич С. С. Автономні системи електроживлення з компенсованими асинхронними машинами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / С. С. Макаревич. – К., 2013. – 25 с.

Проведены экспериментальные исследования автономной системы электроснабжения (АСЭС) с компенсированным асинхронным генератором и асинхронным электродвигателем соизмеримой мощности.

Автономная система электроснабжения, компенсированный автономный асинхронный генератор, асинхронный двигатель, экспериментальная установка.

The experimental researches autonomous power supply system with compensated asynchronous generator and an induction motor of comparable capacity have done.

An autonomous power system, compensated autonomous asynchronous generator, induction motor, the experimental equipment.

УДК 536.24

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОДИНАМІКИ І ТЕПЛООБМІНУ В ОХОЛОДЖУВАЧАХ ПОВІТРЯ ПТАХІВНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

**В.Г. Горобець, доктор технічних наук
В.І. Троханяк, аспірант***

Проведено математичне моделювання процесів масо- і теплопереносу в рекуперативних теплообмінниках для охолодження зовнішнього повітря, що надходить у пташники. Виконано інженерний розрахунок теплообмінника та проведено чисельне моделювання гідродинамічних та теплових процесів, використовуючи програмний продукт САПР ANSYS Fluent 14.0. Отримано розподіли швидкостей, тисків та температур у теплообміннику-рекуператорі.

Теплообмінник-рекуператор, математичне моделювання тепло- і масопереносу, інженерний розрахунок.

Тепловий режим пташників є одним із вирішальних факторів, які визначають продуктивність цієї галузі тваринництва. Утримання птиці в холодних, вологих приміщеннях з незадовільною вентиляцією призводить до зменшення приросту її ваги на 20–30 %, зниження несучості на 30–35 % та підвищення захворюваності молодняку в 2–3 рази, а також перевитрат кормів та перевищення строків вирощування, встановлених зоотехнічними нормами. Тепловий режим пташника встановлюється в результаті теплообмінних процесів, що протікають як всередині приміщення, так і через його зовнішнє огороження. Він формується під впливом системи опалення та вентиляції залежно від метеорологічних параметрів зовнішнього повітря і теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій.

* Науковий керівник – доктор технічних наук, В.Г. Горобець

© В.Г. Горобець, В.І.Троханяк, 2013