

**М. В. Чашко (канд. техн. наук, доц.),**  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

**О. Ю. Колларов (канд. техн. наук, доц.),**  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

**С. М. Зінов'єв (канд. техн. наук, доц.),**  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

**Д. Є. Мазур**  
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ТРИФАЗНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА**

*Анотація: Робота присвячена дослідженню моделі трифазного генератора у додатку для математичного пакету MATLAB Simulink, у якого магнітний потік збудження рухається відносно ротора. Показано, що асинхронізований режим роботи синхронного генератора забезпечує стійке перетворення механічної енергії в електричну.*

**Ключові слова:** *трифазний синхронний генератор, механічна енергія, асинхронізований режим.*

**Постановка проблеми.** Робота присвячена дослідженню трифазного електричного генератора, у якого магнітний потік збудження переміщується щодо ротора. Актуальність дослідження обумовлена здатністю такої машини забезпечити стабільні значення і частоту напруги, що генерується при нестабільному джерелі механічної енергії. Існує проблема забезпечення стабільних параметрів електричної енергії, одержуваної перетворенням енергії механічної від нестабільного її джерела, наприклад, вітряного двигуна. Одним із способів вирішення цієї проблеми є перетворення механічної енергії в електричну асинхронізованими синхронними генераторами (АСГ). Від синхронних машин АСГ відрізняються тим, що магнітне поле переміщається щодо ротора, який його створює, від асинхронних машин АСГ – тим, що це переміщення створюється стороннім джерелом і є керованим.

Дослідження АСГ на фізичних моделях дороге, занадто багато роботи і енергоємне, сучасні технології дослідження пропонують системи комп'ютерної математики, що дозволяють визначати параметри об'єкта без його матеріального втілення. Найбільш ефективною системою, на думку авторів, є MATLAB, зокрема його додаток Simulink [1].

**Мета статті.** Представити просту модель АСГ для дослідження можливості отримання стабільних напруги і частоти від нестабільного джерела механічної енергії.

**Матеріал і результати дослідження.** Модель пристрою представлена на рисунку 1. Віртуальний стенд для визначення характеристик генератора містить асинхронізованому синхронний генератор ASG, джерело напруги збудження, навантаження. Як АСГ прийнята модель трифазної асинхронної машини з фазним ротором з бібліотеки Simulink. Як джерело збудження – бібліотечний джерело трифазного напруги, навантаження виконана у вигляді резисторів.

Модель працює наступним чином. До ротора прикладається момент, отриманий як різниця між заданим моментом і моментом, пропорційним частоті обертання. Це дає можливість стабілізувати частоту обертання при варіюванні електричного навантаження генератора. До трифазної обмотці ротора прикладається напруга від трифазного джерела, так що в роторі створюється обертовий щодо ротора магнітний потік, який індукуює в статорі ЕРС. Значення і частота ЕРС пропорційні алгебраїчній сумі частот обертання ротора і обертання магнітного потоку щодо ротора. Під дією ЕРС через обмотки статора і опору навантаження проходить струм, яким енергія передається від генератора до навантаження.

Магнітний потік, створений струмом навантаження в обмотці статора, алгебраїчно складається з магнітним потоком ротора, так що ЕРС в статорі створюється сумарним потоком.

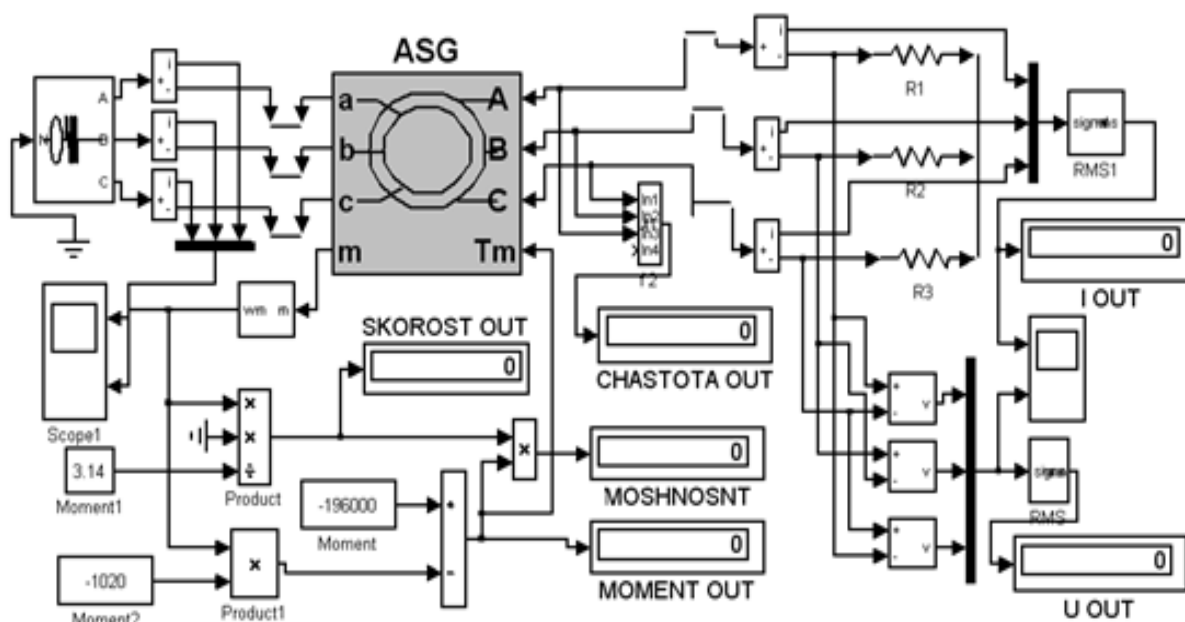


Рисунок 1 – Модель АСГ з бібліотечних елементів Simulink

Особливість АСГ в тому, що ЕРС індукується і в роторі, віднімаючись від напруги збудження, так що струм збудження проходить під дією цієї різниці, а не тільки джерела збудження, як в синхронному генераторі. Ця особливість повідомляє генератору істотні відмінності від генераторів синхронного і асинхронного.

Прототипом для завдання параметрів прийнятий синхронний турбогенератор потужністю 6 МВт, номінальною напругою 6,3 кВ. У процесі дослідження варіювалися напруга і частота збудження, частота обертання, опору резисторів навантаження. Контролювалися струм збудження, що обертає момент, напруга і струм навантаження.

Характеристики холостого ходу. Визначалися при опорі резисторів навантаження на два порядки більше, ніж номінальний опір, так що струм навантаження мав незначні значення.

Частота обертання варіювалася в діапазоні  $20 \div 80$  Гц, частота збудження варіювалася в діапазоні  $\pm 30$  Гц. Напруга збудження встановлювалася таким, щоб при частоті обертання ротора 50 Гц в обмотці статора індуктується ЕРС 6,3 кВ частотою 50 Гц - при частоті збудження, що дорівнює 0. В процесі дослідження змінювалася частота обертання при нульовій частоті збудження, потім частота збудження при частоті обертання 50 Гц. Результати представлені на рисунку 2.

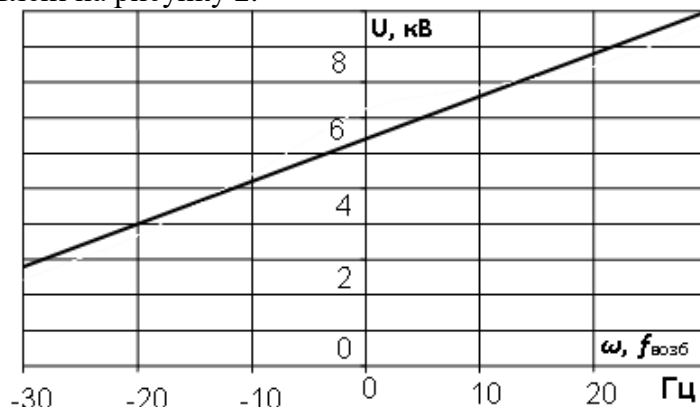


Рисунок 2 – Залежність напруги генератора від частот обертання і збудження при холостому ході

З графіка видно, що напруга генератора однаково змінюється в залежності від частот обертання і збудження з коефіцієнтом  $\Delta U / \Delta f = 50 \text{ В} / \text{Гц}$ . З цього випливає, що бажана частота напруги генератора може бути отримана регулюванням частоти обертання ротора, регулюванням частоти обертання магнітного поля збудження щодо ротора або їх спільним регулюванням.

Зовнішні характеристики. Визначалися для частоти напруги, що генерується 50 Гц. Частота обертання змінювалася в діапазоні 20÷80 Гц, частота збудження встановлювалася в діапазоні  $\pm 30$  Гц так, щоб частота напруги, що генерується була 50 Гц. Напруга збудження встановлювалася таким, щоб при номінальному струмі навантаження і частоті напруги, що генерується 50 Гц, значення напруги, що генерується було 6 кВ. Навантаження змінювалося зміною опору резисторів навантаження. Зовнішні характеристики представлені на рис. 3.

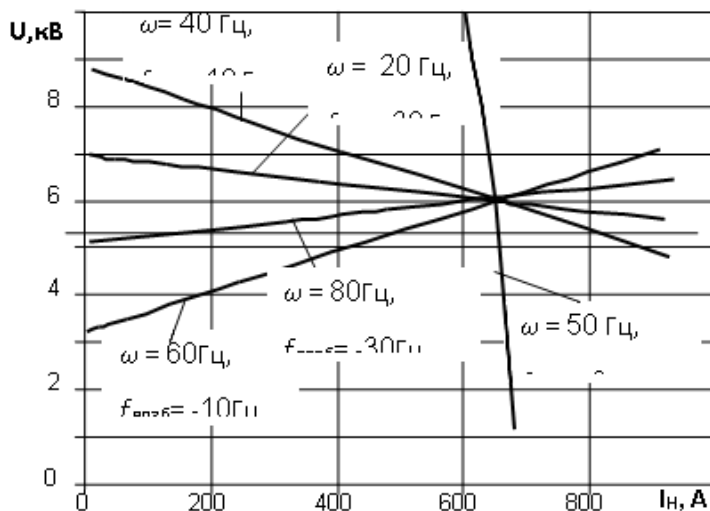


Рисунок 2 – Зовнішні характеристики АСГ при частоті вихідної напруги 50 Гц

З графіків видно, що:

- в асинхронізованому режимі характеристики істотно більш жорсткі, ніж в режимі синхронного генератора;
- при згодному напрямку обертання поля збудження і ротора напруга, що генерується зменшується зі збільшенням струму навантаження. Це пояснюється тим, що ЕРС, індукованим струмом навантаження в роторі (реакція якоря), менше напруги джерела збудження, і різниця між ними збільшується зі збільшенням навантаження. Отже, знижується результуючий потік збудження і індукована їм ЕРС якоря (статора);
- при зустрічному напрямку обертання поля і ротора напруга збільшується з ростом струму. Це пояснюється тим, що реакція якоря більше напруги джерела збудження, і різниця між ними збільшується зі збільшенням навантаження. Отже, збільшується результуючий потік збудження і індукована їм ЕРС якоря;
- чим вище частота, тим жорсткіше характеристики, менше залежність напруги від навантаження. Це пояснюється тим, що зі збільшенням частоти менше відносне значення падіння напруги в активному опорі ланцюга збудження, струм збудження у все більшій мірі залежить від різниці напруги джерела збудження і ЕРС реакції якоря, відбувається все більш повна компенсація реакції якоря.

### Висновки.

1. Асинхронізований режим роботи синхронного генератора забезпечує більш стійке перетворення механічної енергії в електричну, ніж традиційний синхронний режим.
2. Зі збільшенням частоти поля збільшується стабільність генерованої напруги по відношенню до струму навантаження.
3. Та обставина, що потужність збудження становить істотну частину потужності навантаження, вимагає розробки спеціальних схем живлення ланцюга збудження, наприклад, організації генерації енергії з самозбудженням.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дьяконов В.П. Matlab 6/6.1/6.5+Simulink 4/5. Основы применения. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 768 с.
2. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. зав. / Г. Г. Соколовский. – М.: Издательский дом «Академия», 2006. – 272 с.>
3. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. – Кременчук, 2001. – 410 с.
4. Башарин А. в., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат., 1982 – 392с.
5. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./ Под общ. ред. И. П. Копылова. Т. 1. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
6. Китаев В. Е., Корхов Ю. М., Свирин В. К. Электрические машины. Ч. II. Машины переменного тока: Учебное пособие для техникумов/ Под ред В. Е. Китаева. – М.: Высшая школа, 1978. – 184 с.

**М.В. Чашко (канд. техн. наук, доц.),**  
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»  
**А. Ю. Колларов (канд. техн. наук, доц.),**  
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»  
**С.Н. Зиновьев (канд. техн. наук, доц.),**  
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»  
**Д.Е. Мазур**  
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ТРЕХФАЗНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

*Аннотация: Работа посвящена исследованию модели трехфазного генератора в приложении для математического пакета MATLAB Simulink, у которого магнитный поток возбуждения движется относительно ротора. Показано, что асинхронизированный режим работы синхронного генератора обеспечивает устойчивое преобразование механической энергии в электрическую.*

*Ключевые слова: трехфазный синхронный генератор, механическая энергия, асинхронизированный режим.*

**M. Chashko (Ph.D., Associate Professor),**  
Donetsk National Technical University  
**O. Kollarov (Ph.D., Associate Professor),**  
Donetsk National Technical University  
**S. Zinoviev (Ph.D., Associate Professor),**  
Donetsk National Technical University  
**D. Mazur**  
Donetsk National Technical University

## MODEL OF A THREE-PHASE ELECTRIC GENERATORS

*Annotation: The work is devoted to the study of the three-phase generator model in the application for the mathematical package MATLAB Simulink, in which the magnetic excitation flux moves relative to the rotor. It is shown that the synchronized operation mode of a synchronous generator ensures a stable conversion of mechanical energy into electrical energy.*

*Key words: three-phase synchronous generator, mechanical energy, asynchronous mode*