

УДК 621.313.333: 621.314.54: 621.316.765

**К. М. Василів**, д-р техн. наук

### **АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НА БАЗІ АСИНХРОНІЗОВАНОГО ГЕНЕРАТОРА З БЕЗКОНТАКТНИМ КАСКАДНИМ ТРИФАЗНО–ТРИФАЗНИМ МОДУЛЬОВАНИМ ЗБУДЖУВАЧЕМ ЗА СХЕМОЮ ДВІ ЗІРКИ**

***Анотація.** Методом математичного моделювання виконано дослідження електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в автономній системі електроживлення на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним трифазно-трифазним модульованим збуджувачем. Проведено аналіз процесів для з'ясування працездатності системи живлення.*

***Ключові слова:** автономна система електроживлення, асинхронізований генератор, електромагнітні процеси, електромеханічні процеси, каскадний модулятор, частота ковзання*

**К. М. Vasyliv**, ScD.

### **ANALYSIS OF PROCESSES OF AUTONOMOUS POWER SYSTEMS BASED ON ASYNCHRONOUS GENERATOR WITH CONTACTLESS CASCADE AND PHASEMODULATED THREE–PHASE AND TWO–STAR SCHEME ENERGIZER**

***Abstract.** The method of mathematical experiment is used to performed studies of electromagnetic and electromechanical processes that occur in an autonomous power system based on asynchronous generator with a three-phase contactless cascade modulated stimulus. The analysis of processes in terms of efficiency of power.*

***Keywords:** autonomous power system, asynchronous generator, electromagnetic processes, electromechanical processes, cascade modulator, frequency slip*

**К. Н. Васылив**, д-р техн. наук

### **АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА БАЗЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ГЕНЕРАТОРА С БЕСКОНТАКТНЫМ КАСКАДНЫМ ТРЕХФАЗНО–ТРЕХФАЗНЫМ МОДУЛИРОВАННЫМ ВОЗБУДИТЕЛЕМ ПО СХЕМЕ ДВЕ ЗВЕЗДЫ**

***Аннотация.** Методом математического моделирования выполнено исследование электромагнитных и электромеханических процессов, происходящих в автономной системе электропитания на базе асинхронизированного генератора с бесконтактным каскадным с трехфазно-трехфазным модулированным возбудителем. Произведен анализ процессов для определения работоспособности системы.*

***Ключевые слова:** автономная система электропитания, асинхронизированный генератор, электромагнитные процессы, электромеханические процессы, каскадный модулятор, частота скольжения*

**Постановка проблеми.** Характерною особливістю автономних систем електроживлення (АСЕЖ) є змінна швидкість обертання ротора і відповідно ротора генератора, що при безпосередньому використанні генераторів змінного струму призводить до змінності частоти напруги. Тому стабілізування частоти напруги для АСЕЖ є актуальною і складною проблемою. На сьогодні наука і практика в області електромеханіки пропонує низку способів стабілізування частоти напруги. Аналіз літератури показує, що один із перспективних варіантів створення таких автономних систем полягає в їх побудові на базі асинхронізованих генераторів (АСГ) з безконтактним каскадним модульованим збуджувачем (БКМЗ) [7]. Такі системи, крім

того, що забезпечують практично ідеальну стабілізацію частоти напруги при змінній швидкості обертання ротора генератора, відзначаються ще й високим рівнем надійності, бо належать до безконтактних.

В [7] стабілізування частоти напруги ґрунтується на принципі модуляції напруги, що дає змогу в обмотці ротора генератора отримати струм частоти ковзання, а це у свою чергу, забезпечує постійну швидкість обертання магнітного поля відносно обмотки статора генератора і, як наслідок, стабільну частоту напруги генератора. Такі системи як за структурою, так і за фізикою електромагнітних та електромеханічних процесів відносяться до складних. Адже до їх складу, крім самого генератора, входять дві асинхронні машини модулятора, циклоконвертор, а також мають функціонувати відповідні систе-

© Василів К. М., 2012

ми автоматичного керування (САК). Очевидно, що безпосередня розробка подібних систем живлення має ґрунтуватися на всебічних наукових дослідженнях. Результати одного з таких досліджень і становлять предмет цієї статті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальновідомо, що математичне моделювання є потужним і ефективним засобом дослідження процесів, які відбуваються в електротехнічних системах, а безпосереднім інструментарієм тут слугують математичні моделі та відповідні програмні комплекси. Автор протягом останніх років виконав значний обсяг робіт, пов'язаних розробкою математичних моделей автономних систем електроживлення на базі генераторів з БКМЗ, а також провів дослідження за допомогою розроблених математичних моделей. Так, у [1 – 2] розроблено математичні моделі автономної системи електроживлення на базі асинхронізованого генератора з двофазно-трифазним та трифазно-трифазним БКМЗ. За допомогою цих математичних моделей (зокрема [2]) проведено дослідження електромагнітних і електромеханічних процесів, які відбуваються в АСЕЖ на базі АСГ з БКМЗ за схемою в дві зірки під час роботи генератора в режимі неробочого ходу [3], роботи на активно-індуктивне навантаження [4] та під час роботи генератора на вузол асинхронних двигунів [5].

Характерною особливістю математичних моделей [1,2] є те, що в них не передбачено наявності рушія ротора генератора, внаслідок чого істотно обмежує їх можливість. Безумовно, що такі обмеження є істотним недоліком математичних моделей. Тому на наступному етапі були розроблені математичні моделі, які дають змогу моделювати динамічні електромагнітні та електромеханічні процеси (тобто при змінній швидкості обертання ротора генератора), які відбуваються в АСЕЖ як на базі АСГ з трифазно-трифазними, так і на базі АСГ з двофазно-трифазними БКМЗ з урахуванням наявності в моделі рушія [6].

**Викладення матеріалу.** Об'єктом дослідження є автономна система електроживлення на базі асинхронізованого генератора з трифазно-трифазним БКМЗ, у якому роль

комутатора виконує безпосередній тиристорний перетворювач частоти за двонульовою схемою. Схема силового електричного кола такої системи живлення зображена на рис. 1. Її структурні елементи: трифазно-трифазний модулятор, який складається з двох асинхронних машин АМ1 та АМ2, фазні обмотки їх роторів розділені на три гілки та з'єднані в один спільний вузол; джерел живлення цих машин Е1 та Е2 відповідно; безпосередній тиристорний перетворювач частоти (БТПЧ); генератор АГ – асинхронна машина, дві обмотки ротора якої з'єднані в дві окремі зірки. До цієї автономної системи електроживлення також входять споживачі: три асинхронні двигуни АД1, АД2, АД3; активно-індуктивне навантаження  $H$ , фільтр  $\Phi$ , що являє собою батарею конденсаторів. Передбачена також можливість роботи АСГ паралельно з трифазною електричною мережею  $M$ .

На схемі рис. 1 літерами  $\varphi$ ,  $i$ ,  $E$ ,  $L$ ,  $C$  позначено потенціали, струми, електрорушійні сили, індуктивності та ємності, а літерою  $K$  – ключі схеми. Літерами  $F$ ,  $G$ ,  $D$ ,  $M$ ,  $H$ ,  $C$  в нижніх індексах відповідно позначено належність координат до модулятора, генератора, асинхронних двигунів, електричної мережі з боку статора генератора, активно-індуктивного навантаження та фільтра. Літерами  $S$ ,  $R$  в нижніх індексах позначено належність відповідних величин до статора і ротора електричних машин. Цифрами в нижніх індексах позначено номери електричних гілок у межах кожного із структурних елементів, а цифрою 0 в нижньому індексі – вузли з нульовим потенціалом. Цифрами в круглих дужках (1) і та ін. у верхньому індексі позначено належність відповідних величин до АМ1, АМ2, джерел живлення модулятора Е1 і Е2 та асинхронних двигунів АД1, АД2, АД3.

Зі схеми силового електричного кола системи живлення (рис. 1) видно, що фазні гілки роторних обмоток машин модулятора з'єднані в один спільний вузол, який на схемі позначено через  $\varphi_0$ . Його прийнято за залежний вузол схеми. Зазначимо, що цей варіант з'єднання фазних гілок роторних обмоток машин модулятора є лише одним з трьох можливих. Загалом крім цього варіанта передбачено ще комбіноване з'єднання з розподіленням потенціалів та пофазно-групове

з'єднання [7]. Ключі  $K_1 \div K_6$  призначені для вмикання та вимикання споживачів. При цьому ключами  $K_1 \div K_3$  вмикаються та вимикаються три асинхронні двигуни АД1  $\div$  АД3 відповідно, а вимикачами  $K_4 \div K_6$  – решта споживачів відповідно електрична мережа, статичне навантаження та фільтр.

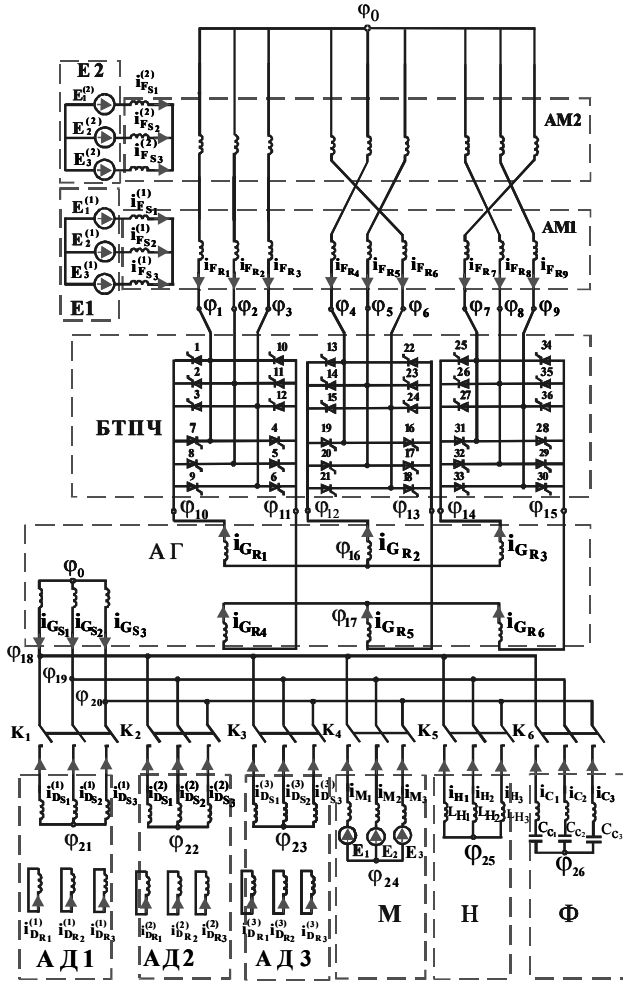


Рис. 1. Схема силового електричного кола АСЕЖ

Суть дослідження полягає в розрахунку електромагнітних та електромеханічних процесів, метою якого є отримання розрахункових функціональних залежностей миттєвих значень усіх визначальних координат: струмів, потенціалів, напруг, швидкостей обертання та електромагнітних моментів електричних машин, які входять до АСЕЖ.

Дослідження автономної системи електроживлення проведемо для асинхронізованого генератора потужністю 100 кВт. Три асинхронні двигуни, які є споживачами електроенергії, мають потужність по 10 кВт кожен.

Моделювання процесів виконаємо для режиму, в якому задане значення ковзання ротора генератора є постійним і таким, що відповідає синхронній швидкості, тобто дорівнює нулю. На початковій стадії робочого циклу АСЕЖ вмикається рушій та виконується розгін ротора генератора. При досягненні швидкості обертання ротора близької до синхронної вмикається напруга живлення машин модулятора, тобто вмикається збудження. На наступній стадії робочого циклу системи виконується почергове вмикання асинхронних двигунів і статичного навантаження, а на останньому етапі виконується почергове відімкнення раніше ввімкнених споживачів. Протягом всього робочого циклу функціонують системи автоматичного керування для стабілізування швидкості обертання ротора та амплітуди напруги АСГ.

На рис. 2 зображено розрахункові залежності від часу заданого та реального значення ковзання генератора. З рисунка 2 видно, що розрахункова залежність заданого значення ковзання  $S_3$  має форму прямої, тобто задане значення ковзання є постійним і таким, що дорівнює нулю. Реальне ковзання  $S$  на етапі розгону ротора генератора змінюється від 1 до 0. При цьому спостерігається істотне перерегулювання ковзання зі значенням  $S = -0,3$  у околі моменту часу  $t = 0,5$  с. З рис. 2 видно, що в моменти вмикання споживачів спостерігається зростання ковзання, що відповідає зниженню швидкості обертання ротора генератора. І навпаки, в моменти часу вимикання споживачів ковзання зменшується.

В момент вмикання споживачів швидкість рушії, а значить і ротора генератора інтенсивно зменшується, що приводить до відповідної реакції системи в вигляді зміни характеру всіх координат всієї системи.

Такий характер ковзання та кутової швидкості обертання ротора генератора спричинений взаємодією механічного крутильного моменту рушії  $M_R$ , з одного боку, та електромагнітних моментів генератора  $M_G$  і машин модулятора  $M_F$ , а також статичного механічного моменту  $M_0$  (моменту втрат), з другого боку. Розрахункові залежності цих моментів зображені на рис. 3, з якого видно, що механічний крутильний момент рушії

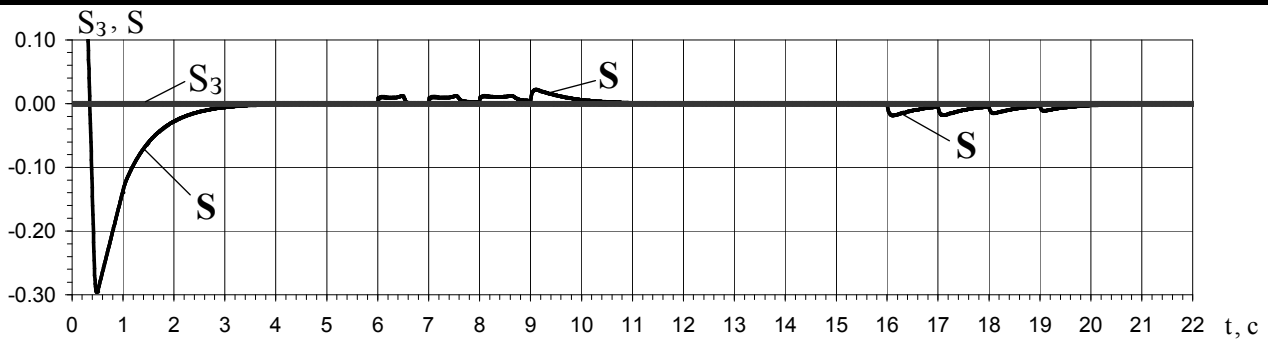


Рис. 2. Розрахункові залежності заданого ( $S_3$ ) і реального ( $S$ ) ковзання генератора

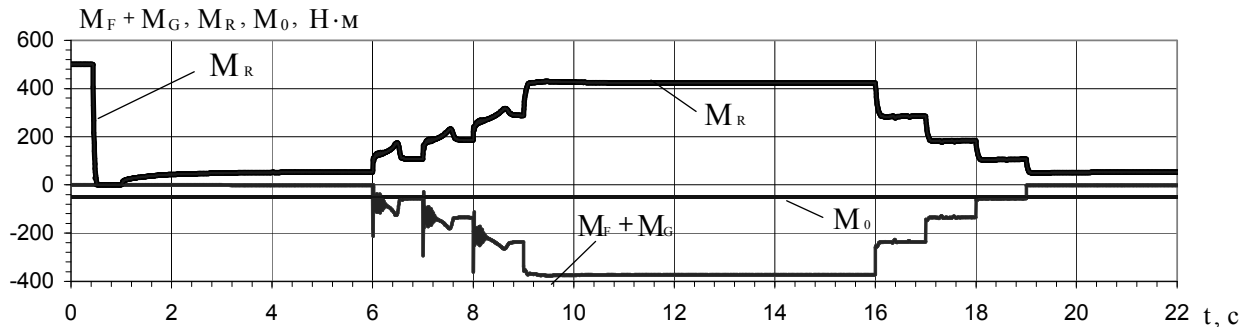


Рис. 3. Крутильний момент рушія  $M_R$ , сумарний момент машин модулятора і АСГ  $M_G + M_F$ , та статичний момент навантаження  $M_0$

ротора генератора  $M_R$  зрівноважується сумою електромагнітних моментів генератора та машин модулятора  $M_G + M_F$  і статичним механічним моментом  $M_0$ . На проміжках часу, де генератор працює в режимі неробочого ходу, крутильний момент рушія ротора генератора  $M_R$  зрівноважується статичним моментом  $M_0$ , оскільки електромагнітні моменти  $M_F$  та  $M_G$  дорівнюють нулю.

Важливу роль у функціонуванні системи збудження і АСЕЖ загалом відіграє перебіг електромагнітних процесів у модуляторі. Тому перейдемо до аналізу струмів і напруг модулятора.

На рис. 4 зображено розрахункові залежності миттєвих значень електричних струмів послідовно з'єднаних фазних гілок роторів машин модулятора. Кожен з трьох рисунків а, б, в ілюструє миттєві значення струмів (для окремих трифазних електричних груп відповідно) послідовно з'єднаних фазних гілок роторів машин модулятора: ба – струми  $i_{FR1}, i_{FR2}, i_{FR3}$ ; бб –  $i_{FR4}, i_{FR5}, i_{FR6}$ ; бв – струми  $i_{FR7}, i_{FR8}, i_{FR9}$ .

З рис. 4 видно, що криві струмів мають модульовану форму з частотою ковзання і частотою заповнення, значення яких залежить від швидкості обертання ротора генератора. Для синхронної швидкості, коли кількість пар полюсів машин модулятора і генератора відповідно мають значення  $p_0^{(1)} = 8, p_0^{(2)} = 4, p_{G0} = 2$ , частота заповнення дорівнює 150 Гц.

Криві на рис. 4 чітко відображають фізику процесів, внаслідок яких отримано електричні напруги та струми модульованої форми з частотою ковзання. Як бачимо з рис. 4, на проміжку часу, де ковзання дорівнює нулю ( $S=0$ ), спостерігаємо струми без модуляції з частотою заповнення  $f_3=150$  Гц. Оскільки фазні напруги зсунуті між собою на  $120^\circ$ , а розгалужені фазні гілки роторів АМ1 та АМ2 для другої та третьої фазних груп сполучені між собою перехресно зі зсувом на  $120^\circ$  (схема рис. 1), то за частотою модуляції кожна з трьох трифазних систем напруг та струмів також зсунуті на кут  $120^\circ$ , що виразно ілюструють рис. 4. Амплітуди напруг і струмів змінюються залежно від електрорушійних сил джерел живлення, а ця, таким

чином, щоб підтримувати потрібне значення струму збудження (амплітуд фазних струмів обмоток ротора генератора).

З рисунків 4 та 6 видно, що модулятор, згідно з теоретичним передбаченнями виконує свою функцію – модулює напругу такої форми, яка потрібна для формування циклоконвертором трифазної системи струмів з частотою ковзання.

Структурні елементи АСЕЖ перебувають у стані взаємного зв'язку. Тому будь-які збурення в одному з них неминуче відповідно впливають на процеси у всіх інших. У випадку цього режиму джерелом таких збурень є не лише зміна швидкості обертання ротора генератора, але й вмикання та вимикання споживачів. Очевидно, що напруги та струми фазних гілок роторів машин модулятора, також повинні реагувати на ці збурення.

З візуального аналізу форми кривих струмів, зображених на рис. 5, виразно видно, що криві цих струмів зазнають істотного деформування, спричиненого перехідними процесами, які виникли внаслідок увімкнення та вимкнення асинхронних двигунів та статичного навантаження. З рис. 5 видно, що амплітуда струмів фазних гілок роторів машин модулятора змінюється залежно від стану споживачів. В увімкненому стану струми збільшуються, а у вимкненому стані – вони зменшуються. Стосовно електричних напруг фазних гілок роторів машин модулятора, також простежується така ж закономірність.

Визначальний вплив на перебіг процесів у таких системах та їх функціонування загалом мають процеси в обмотці збудження генератора. Тому інформація про характер електричних струмів та напруг у обмотці ротора генератора має надзвичайно важливе значення.

Проаналізуємо розрахункові залежності струмів фазних гілок I та II (зірок I та II) ротора генератора. Криві цих струмів зображено на рис. 5.

Форма кривих на цьому рисунку виразно вказує на те, що модульований перетворювач частоти дає змогу отримати високоякісні струми збудження, що є необхідною передумовою для отримання високоякісної напруги. З рис. 5 також видно, що струми збу-

дження мають частоту ковзання, а це гарантує отримання магнітного поля, яке обертається відносно обмотки ротора з частотою ковзання, а значить з постійною частотою відносно обмотки статора генератора. Саме це і дає змогу отримати напругу стабільної частоти за умов змінної швидкості обертання ротора генератора і саме в цьому полягає принцип функціонування систем генерування на базі АСГ з БКМЗ.

За формою кривих також легко простежуються моменти часу вмикання та вимикання споживачів. Внаслідок вмикання споживачів фазні електричні струми інтенсивно збільшуються, а при вимиканні – зменшуються. Тобто форма кривих цих струмів виразно відображає реакцію системи збудження на збурення в колі обмотки статора генератора.

Важливою для аналізу процесів є розрахункова координата півсум струмів однойменних фазних гілок ротора генератора, на підставі яких визначається модуль зображувального вектора фазних струмів збудження

Криві струмів фазних гілок ротора генератора дають практично вичерпну інформацію про функціонування як БКМЗ загалом, так циклоконвертора і його системи керування зокрема. Судячи з форми кривих струму збудження, можна зробити висновок, що АСГ виконуватиме основну свою функцію, яка полягає в генеруванні електричної напруги стабільної амплітуди та стабільної частоти під час вмикання та вимикання навантаження за умови змінної швидкості обертання ротора генератора.

Інформацію про якість електричної напруги генератора за критерієм її амплітуди та про функціонування системи автоматичного стабілізування напруги надає рис. 7, на якому зображені розрахункові залежності  $u_{GS}^v, i_{GS}^v, i_{\mu}^v$  – модулів зображувальних векторів фазних напруг і струмів статора та півсум струмів однойменних фазних гілок ротора генератора. З форми кривої модуля зображувального вектора фазної напруги статора генератора видно, що амплітуда напруги має стабільне значення. Це свідчить про

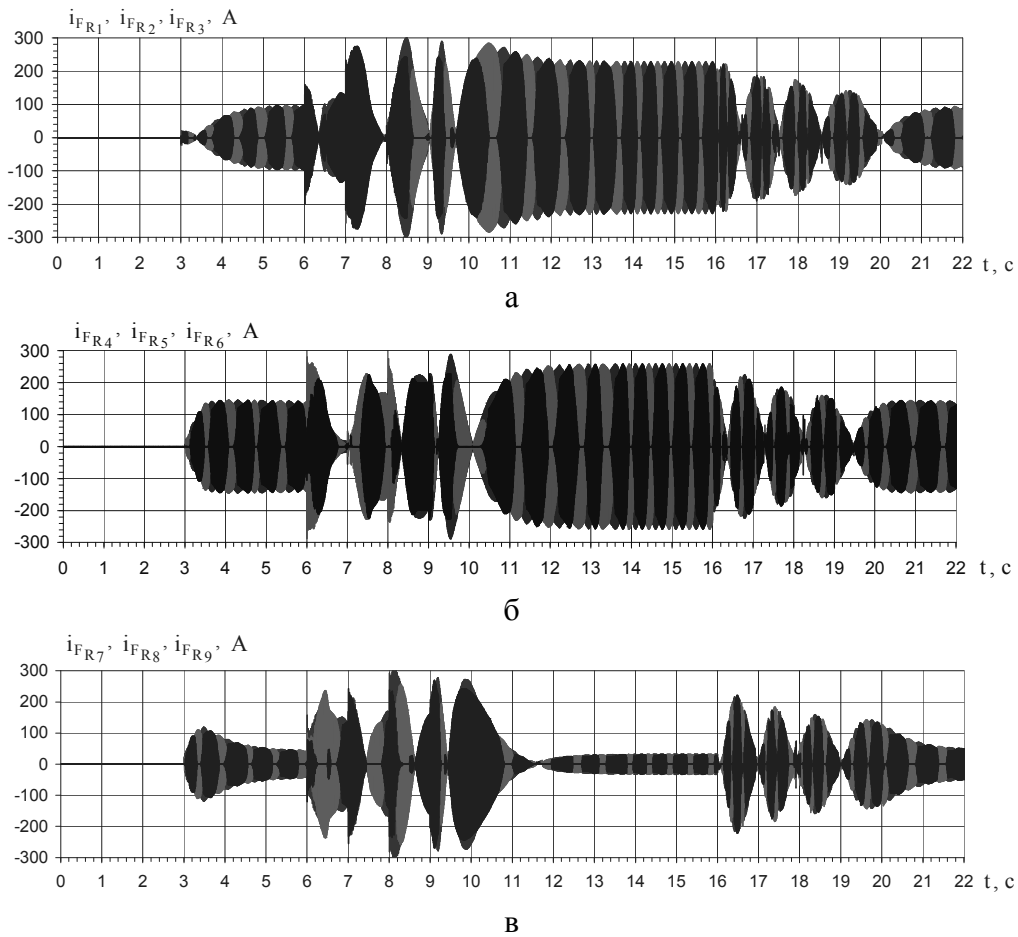


Рис. 4. Розрахункові залежності струмів послідовно з'єднаних фазних гілок роторів машин модулятора: миттєві струми I, II, III фазних гілок роторів машин модулятора (а), теж IV, V і VI (б), теж VII, VIII, IX (в)

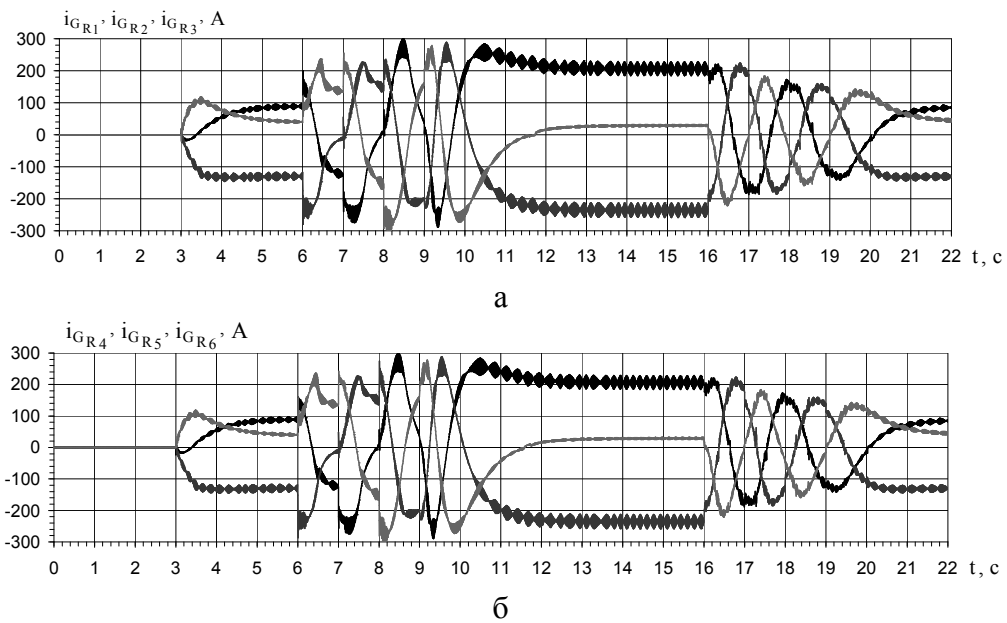


Рис. 5. Миттєві струми II зірок ротора генератора: I зірки  $i_{GR1}, i_{GR2}, i_{GR3}$  (а), II зірки  $i_{GR4}, i_{GR5}, i_{GR6}$  (б)

якість функціонування системи генерування загалом, що досягається вибором параметрів як генератора, так і машин модулятора. З цього рисунка також видно, що система автоматичного керування виконує функцію стабілізування амплітуди напруги статора генератора, а інші координати (струми) відображають поведінку системи в межах робочого циклу (неробочого ходу, почергового вмикання споживачів, роботи в режимі повного навантаження та почергового відмикання споживачів)

$$i_{\mu_1} = (i_{GR1} + i_{GR4})/2, \quad i_{\mu_2} = (i_{GR2} + i_{GR5})/2$$

та

$$i_{\mu_3} = (i_{GR3} + i_{GR6})/2.$$

Криві цих струмів зображено на рис. 6.

У режимі роботи генератора АСЕЖ на навантаження важливо отримати інформацію про перебіг електромагнітних та електромеханічних процесів не лише в генераторі чи збуджувачі, але й простежити за перебігом процесів у структурних елементах, які нале-

жать до споживачів електроенергії. Без такої інформації аналіз функціонування автономної системи електроживлення під час роботи генератора на навантаження однозначно був би далеко не повним і навіть не достатнім для формулювання висновків стосовно функціональних можливостей системи. Щодо асинхронних двигунів, то тут цікавими і важливими для аналізу є швидкість обертання роторів та значення електромагнітних моментів асинхронних двигунів, оскільки саме ці координати є визначальними для відповідних привідних систем.

На рис. 8 зображено розрахункові залежності електромагнітних моментів асинхронних двигунів. За формою кривих електромагнітних моментів простежуються моменти часу ввімкнення та вимкнення двигунів. Ці криві також ілюструють пускові процеси двигунів. Очевидно, що значення цих моментів у квазіусталених режимах визначається моментами механічних навантажень для відповідних кутових швидкостей обертання роторів асинхронних двигунів.

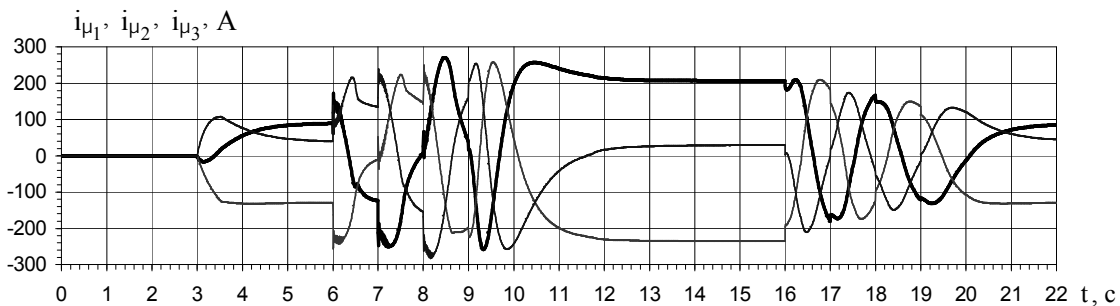


Рис. 6. Графіки півсум струмів  $i_{\mu_1}, i_{\mu_2}, i_{\mu_3}$  однойменних фаз обмоток ротора генератора

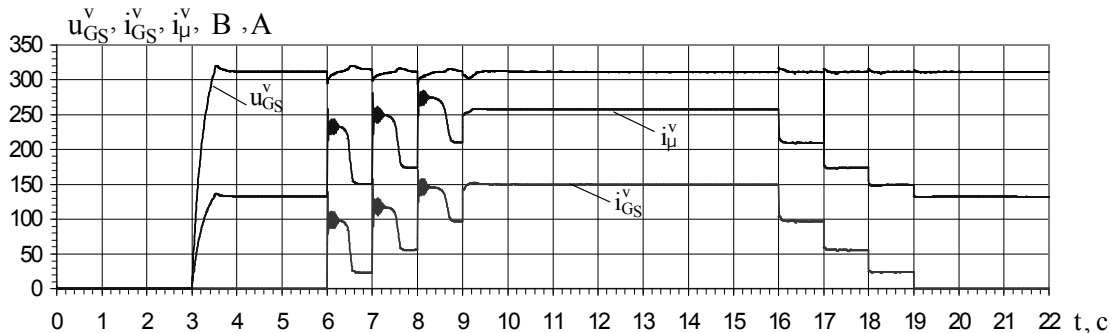


Рис. 7. Графіки модулів зображувальних векторів фазних напруг і струмів статора та півсум струмів фазних гілок генератора  $u_{G_s}^v, i_{G_s}^v, i_{\mu}^v$

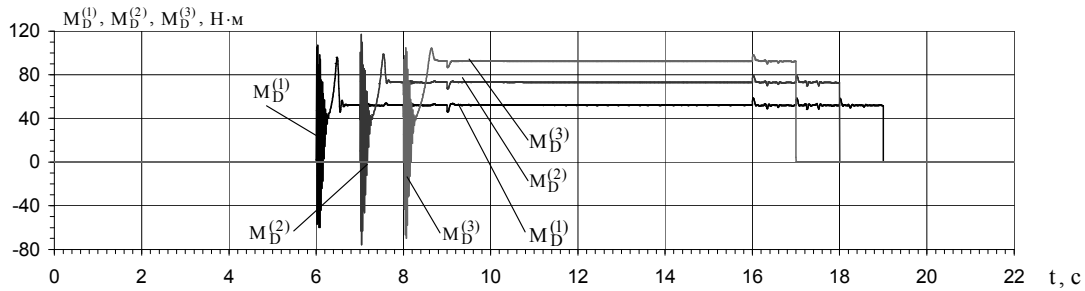


Рис. 8. Графіки електромагнітних моментів асинхронних двигунів  $M_D^{(1)}$ ,  $M_D^{(2)}$ ,  $M_D^{(3)}$

За результатами дослідження встановлено, що струми асинхронних двигунів значно чутливіше реагують на незначні коливання напруги при більших за модулем значеннях ковзання генератора, ніж електричний струм статичного навантаження. Подібні явища дають підстави вважати, що для повноти та всебічності аналізу електромагнітних та електромеханічних процесів, які відбуваються в АСЕЖ на базі АСГ з БКМЗ, важливим є врахування специфіки природи споживачів з погляду перебігу в них процесів.

#### Висновки

1. Аналіз електромагнітних та електромеханічних процесів, які відбуваються в АСЕЖ на базі АСГ з трифазно-трифазним БКМЗ, показує, що ця система в варіанті схеми модулятора зі з'єднанням фазних гілок роторних обмоток машин модулятора в один спільний вузол принципово є роботопридатною.

2. Автономні системи генерування цього типу дають змогу отримати електроенергію високої якості як за параметром частоти, так і за параметром амплітуди та гармонічного спектра фазних електричних напруг.

3. Схеми силового електричного кола АСЕЖ на базі АСГ з трифазно-трифазним БКМЗ відчутно впливають на функціонування системи. Специфіка перебігу електромагнітних та електромеханічних процесів для різних схем АСЕЖ виразніше проявляється для більших за модулем значень ковзання та при високій динамічності ковзання.

4. Системи даного класу забезпечують оптимальні енергетичні показники для відносно неширокого двозонного діапазону ковзання, який за результатами математичного моделювання становить  $\pm 0,06$ . Тому такі системи генерування ефективно функціону-

тимуть в умовах приводу від двигунів внутрішнього згорання та газотурбінних двигунів.

#### Список використаної літератури

1. Василів К. М. Математична модель динамічних процесів автономної електроенергетичної системи на базі безконтактного асинхронізованого генератора з двофазно-трифазним каскадним модульованим збуджувачем / К. М. Василів // Техн. електродинаміка. – 2005. – № 2. – С. 54 – 60.
2. Василів К. М. Математична модель динамічних процесів автономної електроенергетичної системи на базі безконтактного асинхронізованого генератора з трифазно-трифазним каскадним модульованим збуджувачем / К. М. Василів // Техн. електродинаміка. – 2004. – № 5. – С. 50 – 55.
3. Василів К. М. Математичне моделювання динамічних процесів неробочого ходу автономної електроенергетичної системи на базі генератора з безконтактним трифазно-трифазним каскадним модульованим збуджувачем / К. М. Василів // Техн. електродинаміка: – Тематич.вип. Силова електроніка та енергоефективність. – К : – 2004. – Ч. 2. – С. 99 – 105.
4. Василів К. М. Аналіз динамічних процесів автономної електроенергетичної системи на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним трифазно-трифазним модульованим збуджувачем під час роботи на активно-індуктивне навантаження / К. М. Василів О. М. Галіновський // Техн. електродинаміка: – Тематич.вип. Силова електроніка та енергоефективність. – К : – 2005. – Ч. 4. – С. 86 – 93.
5. Василів К. М. Математичне моделювання динамічних процесів автономної електроенергетичної системи на базі асинхроні-

зованого генератора з безконтактним каскадним трифазно-трифазним модульованим збуджувачем під час роботи на вузол асинхронних двигунів / К. М. Василів // Праці Інституту електродинаміки НАНУ: Електродинаміка. – К. : Ін-т електродинаміки НАН України. – 2006. – № 1 (13). – С. 31 – 37.

6. Василів К. М. Методи і моделі аналізу процесів автономних систем електроживлення на базі асинхронізованого генератора з безконтактним каскадним модульованим збуджувачем: дис. доктора техн. наук: 05.09.03 / Василів Карл Миколайович, – К : 2010. – 398 с.

7. Галиновский А. М. Бесконтактный асинхронизированный генератор с модулированным преобразователем частоты / Галиновский А. М. // Труды I Международной (III Всероссийской) конференции по Электромехатронике. – Санкт-Петербургский гос. электротехнический ун-т. –1997. – С. 182 – 192.

Отримано 10.05.2011

#### References

1. Vasyliv K. M., (2005), A mathematical model of dynamic processes of autonomous electric power system on the basis of a contactless asynchronous generator with a two-phase- three-phase cascade modulated exciter / *Physics*. – No. 2. – Pp. 54 – 60 [in Ukrainian].

2. Vasyliv K. M., (2004), Mathematical model of dynamic processes of an autonomous electric power system on the basis of contactless asynchronous generator with a three-phase- three-phase cascade modulated exciter / *Physics*. – No. 5. – P. 50 – 55 [in Ukrainian].

3. Vasyliv K. M., (2004), Mathematical modeling of dynamic processes of idle speed autonomous electric power system on the basis of generator of contactless with a three-phase- three-phase cascade modulated exciter / *Physics: The thematic issue of “The power electronics and energy efficiency”*. – Kiev: – Part. 2. – Pp. 99 – 105 [in Ukrainian].

4. Vasyliv K. M., Galynovsky A. M., (2005), Analysis of the dynamic processes of an autonomous electric power system on the basis

of asynchronous generator with a contactless cascade three-phase- three-phase modulated exciter while working on the active-inductive load / *Physics: The thematic issue of “The power electronics and energy efficiency”*. – Kiev: – Part 4. – Pp. 86 – 93 [in Ukrainian].

5. Vasyliv K. M., (2006), Mathematical modeling of dynamic processes of an autonomous electric power system on the basis of asynchronous generator with a contactless cascade three-phase- three-phase modulated exciter while working on the site induction motors / *Proceedings of the National Academy of Sciences Institute of Electrodynamics: Electrodynamics*. – Kiev: *Institute of Electrodynamics Academy of Sciences of Ukraine*. — No. 1 (13). – Pp. 31 – 37 [in Ukrainian].

6. Vasyliv K. M., (2010), Methods and models for analyzing of the processes of autonomous power systems based on asynchronous generator with contactless cascade modulated exciter: dis. Doctor of Engineering. Sciences: 05.09.03 / Vasyliv Karl Mykolayovych. – Kiev: – 398 p. [in Ukrainian].

7. Galynovsky A. M., (1997), Contactless asynchronous generator with the modulated frequency inverter / *Proceedings of I International (III All Russian) Conference on Electromechatronics*. – *Saint-Petersburg State. Electrotechnical. Univ.* – Pp. 182– 92 [in Russian].



Василів  
Карл Миколайович,  
д-р техн. наук, в.о.проф.,  
зав.каф.ел.технічних  
систем Львівського нац.  
аграрного ун-ту,  
e-mail:  
vasyliv\_karl@ukr.net