

**ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ АВТОНОМНОГО
ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА****М. О. Шихненко, Л. І. Мазуренко, О. В. Джура, О. А. Білик**

Інститут електродинаміки НАН України

просп. Перемоги, 56, м. Київ, 03057, Україна. E-mail: mlins@ied.org.ua

Дослідження особливостей протікання перехідних процесів за зміни навантаження вентильно-індукторного генератора є важливою задачею. Перехідні процеси супроводжуються різкими змінами напруг на обмотках та навантаженні, котрі можуть стати причиною виходу з ладу навантаження, яке живить такий генератор. Крім того, задля забезпечення відповідності якості електроенергії прийнятим стандартам, зміни напруги на навантаженні та вміст в ній гармонік не повинні перевищувати встановлених стандартом значень. Метою роботи є дослідження перехідних процесів вентильно-індукторного генератора, викликаних зміною навантаження, та визначення якості генерованої напруги. При дослідженні електромагнітних процесів вентильно-індукторного генератора використано методи математичного моделювання. Достовірність математичної моделі підтверджена експериментально. Проведено дослідження перехідних процесів вентильно-індукторного генератора спричинених зміною його навантаження. Визначено тривалість перехідних процесів та характер зміни вихідної напруги, встановлено її коефіцієнт пульсацій та гармонічний склад. З'ясовано вплив ємності конденсатора на процес стабілізації вихідної напруги вентильно-індукторного генератора. Надано рекомендації щодо вибору ємності конденсатора. Отримані результати дозволяють стверджувати, що при виборі ємності конденсатора із визначеного діапазону використання розробленої системи керування забезпечує відповідність генерованої напруги вентильно-індукторного генератора стандартам.

Ключові слова: вентильно-індукторний генератор, система керування, математична модель, перехідний процес, гармонічний склад.

**ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ АВТОНОМНОГО
ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА****М. О. Шихненко, Л. И. Мазуренко, А. В. Джура, А. А. Бильк**

Институт электродинамики НАН Украины

просп. Победы, 56, г. Киев, 03057, Украина. E-mail: mlins@ied.org.ua

Исследование особенностей протекания переходных процессов при изменении нагрузки вентильно-индукторного генератора является важной задачей. Переходные процессы сопровождаются резкими изменениями напряжений на обмотках и нагрузке, которые могут стать причиной выхода из строя нагрузки, питающейся от такого генератора. Кроме того, для обеспечения соответствия качества электроэнергии принятым стандартам, изменения напряжения на нагрузке и содержание в ней гармоник не должны превышать установленных стандартом значений. Целью работы является исследование переходных процессов вентильно-индукторного генератора, вызванных изменением нагрузки, и определения качества генерируемого напряжения. При исследовании электромагнитных процессов вентильно-индукторного генератора использованы методы математического моделирования. Достоверность математической модели подтверждена экспериментально. Проведено исследование переходных процессов вентильно-индукторного генератора вызванных изменением его нагрузки. Определена продолжительность переходных процессов и характер изменения выходного напряжения, установлены его коэффициент пульсаций и гармоничный состав. Выяснено влияние емкости конденсатора на процесс стабилизации выходного напряжения вентильно-индукторного генератора. Даны рекомендации по выбору емкости конденсатора. Полученные результаты позволяют утверждать, что при выборе емкости конденсатора с определенного диапазона использование разработанной системы управления обеспечивает соответствие генерируемого напряжения вентильно-индукторного генератора стандартам.

Ключевые слова: вентильно-индукторный генератор, система управления, математическая модель, переходный процесс, гармоничный состав.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Перехідні процеси при зміні навантаження автономних генераторів характеризує ряд динамічних показників, котрі разом із іншими показниками визначають якість генерованої енергії. Деякі з цих показників

характеризують якість енергії незалежно від типу генератора і області його застосування [1]. До таких показників перш за все слід віднести наступні:

1) коливання напруги – провали і стрибки при скиданні-накиданні навантаження;

2) час відновлення напруги після скидання-накидання навантаження.

Оскільки вентиляно-індукторний генератор (ВІГ) генерує постійну напругу, то її коливання δU можуть бути визначені наступним чином:

$$\delta U = \frac{U_d - U_{d(nom)}}{U_{d(nom)}} 100\%, \quad (1)$$

де U_d – амплітуда стрибка (провалу) напруги ВІГ; $U_{d(nom)}$ – середнє значення напруги генератора на холостому ході.

Важливе значення також має статичний показник відхилення рівня напруги ΔU , який відображає зміну середнього значення напруги генератора:

$$\Delta U = \frac{U_{d(mean)} - U_{d(nom)}}{U_{d(nom)}} 100\%, \quad (2)$$

де $U_{d(mean)}$ – середнє значення напруги генератора після стрибка (провалу) напруги ВІГ.

Наряду з вищезазначеними показниками важливе значення також має і гармонічний склад вихідної напруги генератора.

На сьогоднішній день питання дослідження якості електроенергії ВІГ в наукових роботах висвітлені на недостатньому рівні [2–7].

Метою роботи є дослідження перехідних процесів та визначення показників якості електричної енергії вентиляно-індукторного генератора.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Математична модель вентиляно-індукторного генератора

При дослідженні електромагнітних процесів ВІГ використано методи математичного моделювання. Розрахунок процесів проводився на математичній моделі (ММ) вентиляно-індукторної машини (рис. 1) [8], основні рівняння якої наступні:

$$\begin{cases} \frac{d\psi_{ph}}{dt} = U_{ph} - i_{ph} R_{ph}; \\ i_{ph} = \frac{\psi_{ph}}{L_{ph}}; \\ M_{ph} = i_{ph} \frac{d\psi_{ph}}{dt} \frac{1}{\omega} = i_{ph} \frac{d\psi_{ph}}{d\theta}; \\ M_g = \sum_{a=1}^m M_{ph(a)}; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_g); \\ \frac{d\theta}{dt} = \omega, \end{cases} \quad (3)$$

де U_{ph} – фазна напруга; R_{ph} – опір фази статора; i_{ph} – струм фази статора; ψ_{ph} – потокозчеплення фази статора; $L_{ph} = f(\theta_{ph}, i_{ph})$ – індуктивність фази статора (визначається за розрахунком геометрії машини методом скінченних елементів); θ_{ph} – кут повороту ротора відносно даної фази; $M_{ph(a)}$ –

електромагнітний момент утворений фазою a ; m – кількість фаз; M_g – сумарний електромагнітний момент генератора; M – момент обертання первинного двигуна; J – момент інерції агрегата; ω – кутова частота обертання ротора; θ – кут повороту ротора.

Сигнал відкриття транзисторів a -ї фази $G_{(a)}$ визначає тривалість її збудження у відповідності із заданим алгоритмом.

$$G_{(a)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \theta_{on} \geq \theta_{ph(a)} \geq \theta_{off}; \\ 0, & \text{якщо } \theta_{ph(a)} > \theta_{off}; \\ 0, & \text{якщо } \theta_{ph(a)} < \theta_{on}, \end{cases} \quad (4)$$

де $\theta_{on}, \theta_{off}$ – відповідно кут вмикання та вимикання;

Модель вентиляного перетворювача (ВП) складається з рівнянь зв'язку струмів та напруг генератора. Фазна напруга індукторної машини (ІМ) визначається з наступних умов:

де U_d – вихідна напруга генератора.

$$U_{ph(a)} = \begin{cases} U_d, & \text{якщо } G_{(a)} = 1; \\ -U_d, & \text{якщо } G_{(a)} = 0, i_{ph(a)} > 0; \\ 0, & \text{якщо } G_{(a)} = 0, i_{ph(a)} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Умова $G_{(a)}=1$ означає підключення фази через транзистори, $G_{(a)}=0$ – фаза відключена, $G_{(a)}=0, i_{ph}>0$ – підключення фази через зворотні діоди.

Струм на виході ВП i_d визначається як сума складових фазного струму:

$$i_d = \sum_{a=1}^m i_{p(a)}, \quad (6)$$

де $i_{p(a)}$ – складова струму a -ї фази.

Фазний струм ІМ визначається двома складовими – струму що протікає через транзистори та струму що протікає через діоди. З точки зору вихідного струму, ці складові різнополярні. Складова струму фази a визначається наступними умовами:

$$i_{p(a)} = \begin{cases} i_{ph(a)}, & \text{якщо } G_{(a)} = 1; \\ -i_{ph(a)}, & \text{якщо } G_{(a)} = 0, i_{ph(a)} \geq 0; \\ 0, & \text{якщо } G_{(a)} = 0, i_{ph(a)} < 0. \end{cases} \quad (7)$$

Струм конденсатора i_c визначається з рівняння:

$$i_c = C \frac{dU_d}{dt}, \quad (8)$$

де C – ємність конденсатора.

Струм навантаження i_n в колі постійного струму:

$$i_n = i_d - i_c. \quad (9)$$

Достовірність запропонованої моделі підтверджена в [8].

Розрахунки перехідних процесів виконано для генератора з наступними параметрами: номінальна потужність 1 кВт, номінальна напруга 460 В, номінальна частота обертання 3000 об/хв, вентиляний перетворювач виконаний за схемою наведеною в [9].

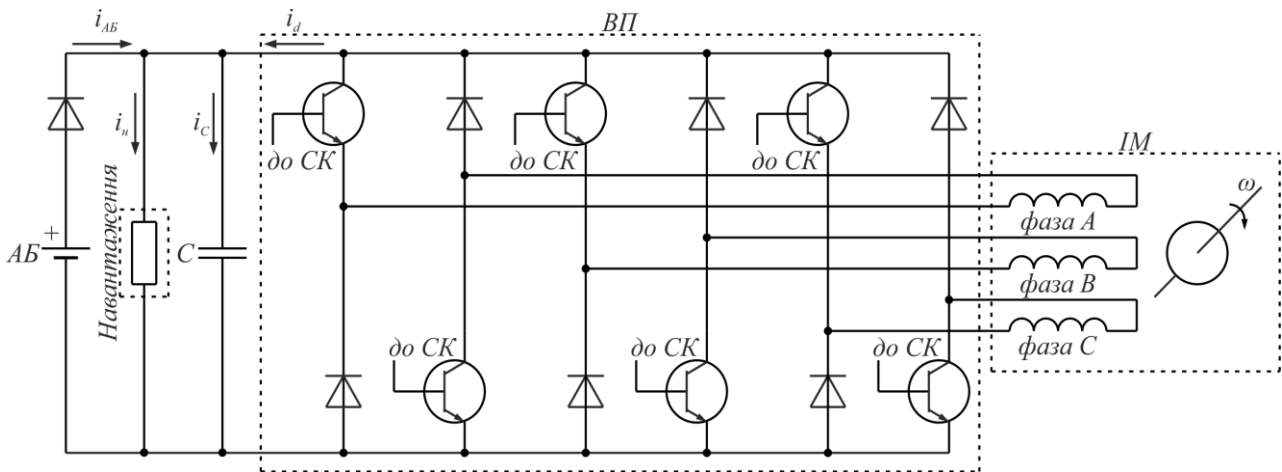


Рисунок 1 – Схема вентильно-індукторного генератора

Система керування

При дослідженні на ММ вентильно-індукторний генератор збуджується від акумуляторної батареї (АБ) при відсутності навантаження. Система керування (СК) забезпечує зростання вихідної напруги генератора до номінальної. Після цього здійснюється підключення навантаження. Перехідні процеси скидання-накидання навантаження розраховуються при постійній частоті обертання.

Система керування здійснює стабілізацію вихідної напруги ВІГ впливаючи на максимальне значення струму, що проходить через транзистори, при фіксованих кутах комутації [8]. При стабілізації напруги на рівні 460 В надійна робота генератора забезпечується в діапазоні навантажень від 0 до 1 кВт.

Структурна схема системи керування ВІГ зображена на рис. 2. Регулювання напруги здійснюється шляхом комутації фази при досягненні фазним струмом $i_{\phi(m)}$ заданого значення $i_{\phi(max)}$, кути комутації при цьому задаються постійними. Стабілізація відбувається за встановленою залежністю $i_{\phi(max)} = f(U_d^*, i_d)$ між максимальним струмом фази $i_{\phi(max)}$, заданою напругою U_d^* та вихідним струмом i_d (датчик струму ДС1), котра визначається шляхом моделювання або експериментально.

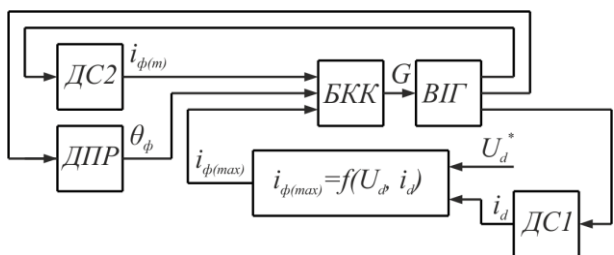


Рисунок 2 – Структурна схема системи керування генератором

Блок керування комутацією БКК отримує сигнали миттєвого значення фазного струму $i_{\phi(m)}$ від датчика струму ДС2 та кута комутації фази θ_{ϕ} від датчика положення ротора ДПП та згідно з заданим значенням максимального фазного струму $i_{\phi(max)}$ вирабляє керуючий вплив на ВІГ.

Запропонована структурна схема системи керування відноситься до класу систем, що працюють по збуренню. Збуренням в системі виступає струм i_d , а регулюючий вплив визначається величиною $i_{\phi(max)}$. При цьому інші збурення не компенсуються.

Алгоритм стабілізації наступний: збуджений ВІГ працює в режимі холостого ходу, при підключенні навантаження вихідний струм зростає, відповідно чому (за залежністю $i_{\phi(max)} = f(U_d^*, i_d)$) зростає максимальне значення струму фази, рівень напруги залишається незмінним. Зі зменшенням навантаження максимальне значення струму фази спадає.

Аналіз перехідних процесів ВІГ при зміні навантаження

Завдання дослідження перехідних процесів ВІГ полягає в тому, щоб з'ясувати закони і тривалість зміни напруги навантаження відносно їх сталих значень. Протікання таких процесів відповідає другому закону комутації: напруга на ємнісному елементі не може змінитись стрибкоподібно. При цьому струм навантаження змінюється стрибкоподібно, оскільки в електричному колі з резистивними елементами енергія електромагнітного поля не запасується, внаслідок чого в них не виникають перехідні процеси, тобто миттєво встановлюються стаціонарні режими.

Результати розрахунку процесів скидання-накидання активного навантаження зображені на рис. 3 та рис. 4, де представлені вихідна напруга U_d та струм навантаження i_d .

Накидання номінального навантаження (рис. 3) спричиняє просадку вихідної напруги, її перехідне відхилення становить $\delta U=20\%$, час відновлення напруги – $0,25$ с. Скидання номінального навантаження (рис. 4) викликає стрибок вихідної напруги, перехідне відхилення напруги складає $\delta U=18\%$, час відновлення напруги – $0,06$ с.

Зі зниженням навантаження зменшується відхилення вихідної напруги, так накидання половинного навантаження (50 % номінального значення) спричиняє просадку напруги, її перехідне відхилення $\delta U=10\%$, час відновлення напруги – $0,06$ с. При скиданні половинного навантаження виникає стрибок вихідної напруги, перехідне відхилення якої становить $\delta U=8\%$, час відновлення напруги – $0,06$ с.

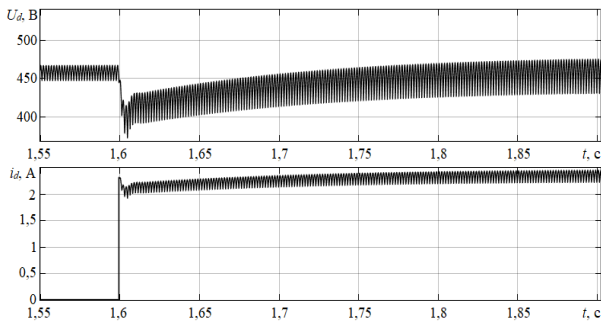


Рисунок 3 – Осцилограма перехідного процесу накидання номінального навантаження

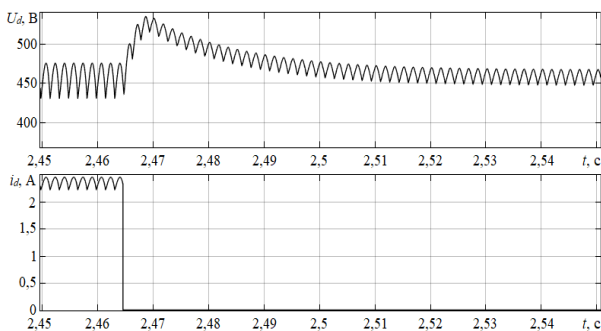


Рисунок 4 – Осцилограма перехідного процесу скидання номінального навантаження

Показник сталого відхилення напруги від номінальної після накидання та скидання навантаження (у всьому діапазоні навантажень) близький до нуля.

Характер зміни напруг за перехідного процесу скидання та накидання навантаження відповідає аперіодичній ланці першого порядку. Відзначимо, що амплітуда просадок та стрибків напруги в деякій мірі залежить від моменту накидання/скидання навантаження. Крім того, час затухання перехідних процесів при зміні навантаження залежить від СК і визначається її затримкою на постійну часу.

Збільшення цієї постійної часу знижує якість перехідних процесів при накиданні та скиданні навантаження.

Проведено дослідження впливу ємності конденсатора на процес стабілізації вихідної напруги після накидання та скидання навантаження. Збільшення ємності конденсатора зазвичай призводить до зростання часу перехідного процесу. Необхідно підкреслити, що зміна ємності ВІГ при незмінних параметрах СК впливає на його зовнішні характеристики (рис. 5). За малих значень ємності вони висхідні, а при великих – дещо спадні.

Тривалість перехідного процесу для ємностей діапазону $10...400$ мкФ відповідає ідеальному випадку (спостерігається лінійне зростання часу перехідного процесу), час відновлення напруги при накиданні (скиданні) навантаження складає $0,015...0,275$ с ($0,01...0,45$ с) за половинного та $0,03...0,4$ с ($0,01...0,3$ с) за номінального навантаження. В діапазоні $500...1000$ мкФ спадний характер залежностей $U_d=f(I_d)$ більше впливає на час протікання перехідного процесу. За половинного навантаження час відновлення напруги складає: при накиданні $0,22...0,01$ с та скиданні ($0,3...0,01$ с) навантаження. За номінального навантаження напруга встановлюється за $0,25...0,01$ с та $0,3...0,01$ с відповідно.

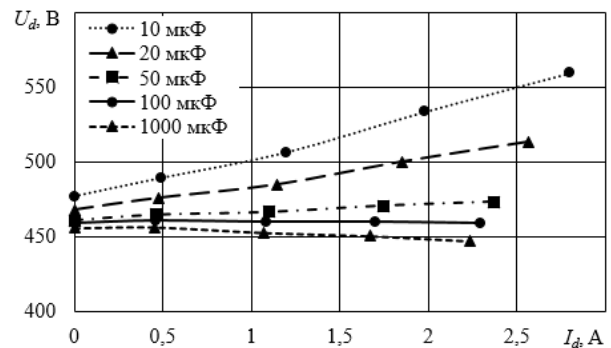


Рисунок 5 – Вплив ємності конденсатора на зовнішні характеристики ВІГ

Так як процес накидання навантаження супроводжується просадкою напруги, то відповідно напруга при просадці виявляється близькою до визначеного залежністю $U_d=f(I_d)$ рівня. Тому час перехідного процесу скорочується: лінійно для половинного та різко для номінального навантаження. Процес скидання супроводжується стрибком вихідної напруги, збільшення ємності конденсатора, відповідно до визначеного залежністю $U_d=f(I_d)$ рівня, лінійно знижує тривалість стабілізації напруги.

Стале відхилення вихідної напруги, яке опосередковано визначається із відмінності

зовнішніх характеристик, відсутнє за номінального значення ємності ($C_{ном}=100$ мкФ), лінійно зростає від 0,33 до 1 % за половинного та від 0,98 до 1,97 % за номінального навантажень при збільшенні ємності від 200 до 1000 мкФ, а також, практично експоненційно зростає від 1,09 до 4,82 % за половинного та від 2,17 до 17,4 % за номінального навантажень при зменшенні ємності від 50 до 10 мкФ. Номінальне значення ємності конденсаторів вибирається з умови забезпечення заданих показників якості електроенергії. Перехідне відхилення напруги, залежність якого від ємності конденсатора змінюється за гіперболічним законом, при накиданні номінального (половинного) навантаження приймає значення для ємностей діапазонів 10...100 мкФ та 200...1000 мкФ – 81,76...20 % (50,63...10 %) та 10,2...2,19 % (5,32...0 %) відповідно. При скиданні номінального (половинного) навантаження перехідне відхилення становить для ємностей діапазонів 10...100 мкФ та 200...1000 мкФ – 105,66...18 % (53,25...8 %) та 7,77...0 % (4,33...0 %) відповідно.

Таким чином ємності менші номінальної спричиняють вихід якості електроенергії за межі обумовленого стандартом [10] рівня по показнику перехідного відхилення, а також за показником сталого відхилення рівня напруги.

Гармонічний аналіз вихідної напруги ВІГ

Конденсатор в колі постійного струму служить для підтримання самозбудження ВІГ. З позиції навантаження він виконує роль фільтра постійної напруги – його ємність визначає рівень пульсацій та впливає на гармонічний склад напруги навантаження.

Основним показником, що визначає якість випрямленої напруги, є коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги, який визначається

відношенням діючого значення змінної складової пульсуєщої напруги до її номінального значення:

$$k_p = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n U_k^2}}{U_{d(nom)}} \quad (7)$$

де U_k – діюче значення напруги k -ї гармоніки.

Залежності коефіцієнту пульсацій при зміні ємності конденсатора наведені на рис. 6. Зі зростанням навантаження цей коефіцієнт зростає, починаючи з ємності 40 мкФ його значення менше за обмеження стандарту для електродвигунів постійного струму ($k_{п(max)} \leq 8\%$). Аналіз гармонічного складу вихідної напруги ВІГ дозволяє зробити висновок, що збільшення ємності конденсатора призводить до зниження вмісту гармонічних складових.

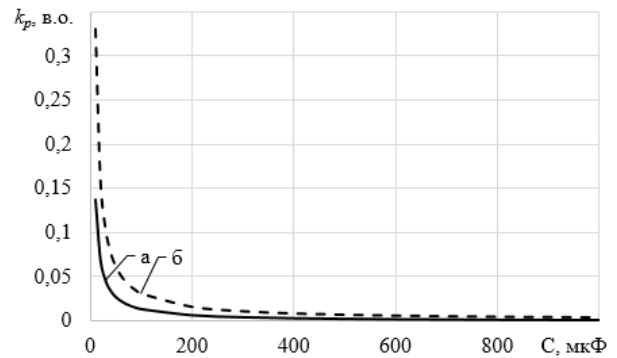


Рисунок 6 – Залежності коефіцієнту пульсацій k_p від ємності конденсатора для: а) холостого ходу; б) номінального навантаження

Гармонічні складові випрямленої напруги за значення ємності конденсатора 100 мкФ наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Гармонічні складові вихідної напруги ВІГ

Холостий хід									
Номер гармоніки	0	3	6	9	12	15	18	21	24
Амплітуда гармоніки, в.о.	1	0,0191	0,0021	0,0017	0,0007	0,0005	0,0004	0,0002	0,0002
Амплітуда гармоніки, В	458,77	8,76	0,97	0,76	0,33	0,22	0,18	0,11	0,09
Діюче значення гармоніки, В	324,4	6,19	0,68	0,54	0,23	0,16	0,12	0,08	0,06
Половинне навантаження									
Амплітуда гармоніки, в.о.	1	0,0287	0,004	0,0023	0,0015	0,0008	0,0006	0,0004	0,0003
Амплітуда гармоніки, В	459,86	13,22	1,85	1,04	0,67	0,39	0,26	0,2	0,14
Діюче значення гармоніки, В	325,17	9,35	1,31	0,73	0,47	0,27	0,19	0,14	0,1
Номінальне навантаження									
Амплітуда гармоніки, в.о.	1	0,0412	0,0084	0,0036	0,0021	0,0014	0,0009	0,0006	0,0005
Амплітуда гармоніки, В	459,49	18,95	3,86	1,66	0,96	0,62	0,42	0,3	0,23
Діюче значення гармоніки, В	324,91	13,4	2,73	1,18	0,68	0,44	0,3	0,21	0,16

З рис. 7, де представлені осцилограми, які відображають квазісталі процеси роботи ВІГ, видно що на один період зміни напруги (струму) однієї фази припадає три періоди зміни вихідної напруги, тобто частота пульсації вихідної напруги ВІГ трикратна по відношенню до частоти комутації фази.

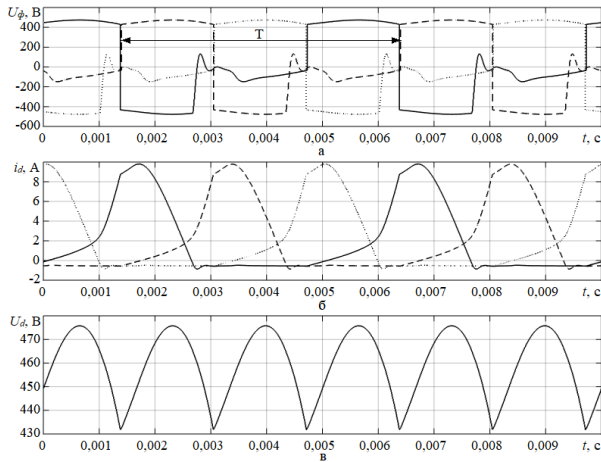


Рисунок 7 – Визначення частоти пульсацій вихідної напруги ВІГ: а) фазна напруга; б) фазний струм; в) вихідна напруга

ВИСНОВКИ. Різкі зміни навантаження в автономних установках викликають коливання вихідної напруги та струму. Відновлення напруги після скидання-накидання навантаження займає певний час.

Збільшення ємності конденсатора в загальному випадку призводить до зростання часу перехідного процесу. Запропонована система керування здійснює стабілізацію вихідної напруги за номінального значення ємності практично з нульовим сталим відхиленням рівня вихідної напруги. Однак при зміні ємності залежності $U_{\delta}=f(I_{\delta})$ за ємностей більше номінальної стають спадними, за ємностей менше номінальної – висхідними, що також впливає на час протікання перехідного процесу.

Дослідження динамічних показників якості електричної енергії ВІГ вказує на необхідність підключення конденсаторів ємністю рівною номінальній і вище для забезпечення рівня якості електроенергії встановленого стандартом. Відповідність генерованої напруги стандарту за її гармонійним складом забезпечується при ємностях $0,4C_{ном}$ і вище. Таким чином зниження ємності конденсатора знижує якість вихідної напруги.

При виборі величини ємності конденсатора важливо приймати до уваги перехідне відхилення напруги та коефіцієнт її пульсацій. Показник сталого відхилення вихідної напруги при цьому не має визначального фактору, так як може бути

усунутий шляхом налагодження СК.

За результатами досліджень можна стверджувати, що розроблена система керування, за ємності конденсатора $1...10C_{ном}$, забезпечує відповідність якості генерованої напруги вентильно-індукторного генератора визначеному стандартом рівню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мазуренко Л. И., Лищенко А. И. Асинхронные генераторы с вентильным и вентильно-емкостным возбуждением для автономных энергоустановок. Київ: Наукова думка, 2011. 271 с.
2. Miller T. J. E. Electronic Control of Switched Reluctance Machines – UK. Oxford : Newnes Publ., 2001. 272 p.
3. Watkins S. J., Corda J. An SR Drive for a Multi-Megawatt High-Speed Application. *Proceedings of EPE '03, 10th European Conference on Power Electronics and Applications*. Toulouse, 2003.
4. Naruka M. S. Power Quality Aspects For Switched Reluctance Motor Drive : Dr. eng. sci. diss. Dehradun, 2017. 166 p.
5. Rajesh M. J., Singh B. Power Quality Improvement in a Four-Phase Switched Reluctance Motor Drive using Twelve-Pulse AC/DC Converter. *Electric Power Components and Systems*. 2014. PP. 1495–1504. DOI: 10.1080/15325008.2014.943824.
6. Singh, B., Rajesh M. J. Input Power Quality Improvement in Switched Reluctance Motor Drive using Minnesota Rectifier. *Journal of The Institution of Engineers (India) : Series B*. 2013. Vol. 94 (3). PP. 161–168. DOI:10.1007/s40031-013-0060-1.
7. Asadi P. Development and Application of an Advanced Switched Reluctance Generator Drive : Dr. eng. sci. diss. Tehran, 2006. 133 p.
8. Shykhnenko M. O., Mazurenko L. I., Dzhura O. V., Bilyk O. A. Mathematical Model, Research and Improvement of the Switched Reluctance Generator Voltage Stabilization Methods. *IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*. Kharkov : NTU “KhPI”. 2018. PP. 338–342. DOI: 10.1109/IEPS.2018.8559578.
9. Мазуренко Л. И., Бібік О. В., Клименко В. Г., Шихненко М. О. Оцінка можливості використання вентильно-реактивного двигуна у складі верстат-гойдалки. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії»*. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. № 1 (1223). С. 97–100.
10. ГОСТ 13822-82 Электроагрегаты и передвижные электростанции, дизельные. Общие технические условия. Москва : Изд-во стандартов, 1989. 30 с.

TRANSIENT PROCESSES AND POWER QUALITY OF AN AUTONOMOUS SWITCHED RELUCTANCE GENERATOR

M. Shykhnenko, L. Mazurenko, O. Dzhura, O. Bilyk

The Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine
prosp. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine. E-mail: mlines@ied.org.ua

Purpose. Research of the transient processes features of changing the switched reluctance generator load is an important task. Transients are often accompanied by abrupt changes of the winding and the load voltages, which can cause the failure of a sensitive load, powered by this generator. Furthermore, to ensure the power quality correspondence with the accepted standards, the load voltage changes and its harmonic composition must not exceed the values specified by the standard. The purpose of the work is to study the transients of the switched reluctance generator caused by changes in load and to determine the generated voltage quality. **Methodology.** Mathematical modeling methods was used in the switched reluctance generator electromagnetic processes research. The reliability of a mathematical model is confirmed experimentally. **Results.** An investigation of the switched reluctance generator transient processes caused by load changes are performed. The duration of transient processes and character of the output voltage change are determined, its ripple coefficient and harmonious composition are defined. The influence of the capacitance to the switched reluctance generator output voltage stabilization process has been ascertained. Recommendations are given to the capacitance choice. **Practical value.** The results obtained suggest that, when choosing the capacitance from a definite range, the use of the developed control system ensures that the switched reluctance generator output voltage meets determined standards. References 10, figures 7.

Key words: switched reluctance generator, control system, mathematical model, transient process, harmonious composition.

REFERENCES

1. Mazurenko, L. I., & Lishchenko, A. I. (2011). *Asinhronnyie generatoryi s ventilnyim i ventilno-emkostnyim vzbuzhdeniem dlya avtonomnyih energostanovok* [Asynchronous generators with valve and valve-capacitive excitation for autonomous power installations], Kyiv: Naukova dumka. [in Russian]
2. Miller, T. J. E. (2001). *Electronic Control of Switched Reluctance Machines – UK*, Oxford: Newnes.
3. Watkins, S. J., & Corda, J. (2003). An SR Drive for a Multi-Megawatt High-Speed Application. *Proceedings of EPE '03, 10th European Conference on Power Electronics and Applications*, Toulouse.
4. Naruka, M. S. (2017). *Power Quality Aspects For Switched Reluctance Motor Drive*. Doctor's thesis. Dehradun.
5. Rajesh, M. J., & Singh, B. (2014). Power Quality Improvement in a Four-Phase Switched Reluctance Motor Drive using Twelve-Pulse AC/DC Converter. *Electric Power Components and Systems*, 1495–1504. DOI: 10.1080/15325008.2014.943824.
6. Singh, B., & Rajesh, M. J. (2013). Input Power Quality Improvement in Switched Reluctance Motor Drive using Minnesota Rectifier. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*. Vol. 94 (3). 161–168. DOI:10.1007/s40031-013-0060-1.
7. Asadi, P. (2006). *Development and Application of an Advanced Switched Reluctance Generator Drive*. Doctor's thesis. Tehran.
8. Shykhnenko, M. O., Mazurenko, L. I., Dzhura, O. V., & Bilyk, O. A. (2018). Mathematical Model, Research and Improvement of the Switched Reluctance Generator Voltage Stabilization Methods. *IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)* September 10–14, 2018 (pp. 338–342). Kharkov: NTU “KhPI”. DOI: 10.1109/IEPS.2018.8559578.
9. Mazurenko, L. I., Bibik, O. V., Klymenko, V. H., & Shihnenko, M. O. (2017). Evaluation of the use of switched reluctance motors in the machine–rocking chair unit. *Bulletin of NTU “KhPI”. Series: “Electrical machines and electromechanical energy conversion”*. 1 (1223). 97–100. [in Ukrainian]
10. *Electric power units and mobile power stations, diesel. General specifications*. (1989). GOST 13822-82. Moscow: Izdatelstvo standartov. [in Russian]

Стаття надійшла 11.03.2019.