

УДК 62-523.2

**О. О. Бересан,**

**А. О. Бойко,** канд. техн. наук,

**С. М. Радімов,** д-р техн. наук

### **ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ЗІ ЗМІННОЮ ЧАСТОТОЮ ОБЕРТАННЯ**

*Розглянуто силову частину станції, яка призначена для випробування синхронних генераторів, що працюють із змінною частотою обертання. За результатами гармонічного аналізу напруги генератора під час різних режимів роботи визначено структуру станції, яка відрізняється від традиційної.*

*Ключові слова:* синхронний генератор, випробувальна станція, блоки силового кола, форма напруги генератора, гармонічний склад.

**A. A. Beresan,**

**A. A. Boyko,** PhD.,

**S. N. Radimov,** ScD.

### **FEATURES OF CONSTRUCTION OF THE PROOF-OF-COMPLIANCE TEST STATION FOR VARIABLE SPEED SYNCHRONOUS GENERATORS**

*There is described power circuit of the test station for variable speed synchronous generators. There were performed the generator's voltage wave analysis at various operation modes and determined control structure of the station, which is in contrast to the usually used ones.*

*Keywords:* synchronous generator, test station, power circuit main units, voltage waveform of the generator, harmonic composition.

**A. A. Бересан,**

**А. А. Бойко,** канд. техн. наук,

**С. Н. Радимов,** д-р техн. наук

### **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ**

*Рассмотрена силовая часть станции, предназначенной для испытания синхронных генераторов, работающих с переменной частотой вращения. По результатам гармонического анализа напряжения генератора при разных режимах работы определена структура станции, которая отличается от традиционной.*

*Ключевые слова:* синхронный генератор, испытательная станция, блоки силовой цепи, форма напряжения генератора, гармонический спектр.

Сучасні пасажирські вагони підвищеної комфортності комплектуються трифазними синхронними генераторами індукторного типу, які призначені для забезпечення енергією пристроїв обігріву і кондиціонування повітря, освітлення та інших споживачів. Потужність генераторів різних виробників, що знаходяться в експлуатації, приблизно однакова – 34-35 кВА. Особливістю генераторів є їх здатність працювати при змінній частоті обертання індуктора (ротора), яка пропорційна швидкості руху пасажирського потягу. Робочі частоти обертання ротора знаходяться в межах від 750 до 3850 об/хв. Незважаючи на широкий діапазон зміни робочих частот обертання ротора, яким відповідають частоти індуктованої ЕРС генератора від 150 до 770 Гц,

© Бересан А.А., Бойко А.А.,

Радімов С.М., 2012

напруга на виході генератора повинна залишатися незмінною, рівною номінальному значенню  $U_H = 116$  В.

Відповідно до нормативно-технічної документації [1, 2] генератори, що експлуатуються, мають проходити випробування, які проводяться під час планових ремонтів вагонного устаткування в залізничних депо. Мета проведення випробувань полягає в підтвердженні придатності генераторів для подальшої експлуатації. Для цього передбачено процедури випробувань як на механічну, так і на електричну міцність, а також під час роботи з номінальним та збільшеним у 1,5 рази навантаженням. Аналогічним випробуванням підлягають і нові генератори.

Перевірка на механічну міцність передбачає обертання ротора протягом 2 хв. з час-

тотою, що перевищує на 10 % максимальну. При перевірці на електричну міцність ізоляції вихідна напруга генератора (ЕРС) в режимі неробочого ходу протягом 5 хв витримується на рівні  $1,3 U_n$ . Перевірка відповідності параметрів генератора номінальним даним проводиться на номінальній і максимальній частотах обертання, при цьому генератор має розвивати номінальну потужність при обох частотах і обох напрямках обертання. Випробування на короткочасне перевантаження за струмом до 1,5 номінального значення проводять протягом 1 хв.

У зв'язку з тим, що парк вагонних генераторів, що експлуатуються на залізницях України, складає близько 1500 одиниць, актуальним є створення випробувальної станції, що передбачає можливість роботи, в основному, в автоматичному режимі. Тільки процедура, яку немає потреби автоматизувати, наприклад, перевірка опору ізоляції мегомметром, виконується в ручному режимі.

Робота станції в автоматичному режимі дає змогу повністю контролювати виконання процедур випробувань, виключити суб'єктивний чинник при їх проведенні і оцінюванні результатів випробувань, сформулювати файл протоколу, який доповнює документацію, що супроводжує генератор.

Аналіз можливостей існуючих випробувальних станцій показав, що більшість з них передбачають проведення процедур тільки в ручному режимі, а проведення випробувань генератора, при яких він несе номінальне або підвищене в півтора рази навантаження, виконуються шляхом підключення до виходу генератора навантажувальних резисторів.

Для автоматизованої енергоефективної станції запропоновано структуру силових кіл (рис. 1). Синхронний генератор 1 перед випробуванням стикується з рушійним асинхронним двигуном 2 за допомогою роз'ємного карданного валу 3. Цей двигун отримує живлення від перетворювача частоти 4. Вихід обмоток змінного струму генератора підключений до трифазного мостового випрямляча 5, який виходом постійного струму сполу-

чений з колом постійного струму нереверсивного тиристорного перетворювача (рекуператора) 6, що працює в інвертованому режимі. Для узгодження напруги силового кола рекуператора з напругою мережі призначений трифазний трансформатор 7. Підтримка постійності напруги генератора при зміні струму навантаження і обертанні його ротора з різними частотами здійснюється збудником 8. Для зміни частоти обертання ротора генератора призначений датчик завдання 9 перетворювача частоти. Завдання струму навантаження здійснюється датчиком 10, що впливає на контур регулювання струму тиристорного перетворювача. При знятті характеристики неробочого ходу у ручному режимі передбачено датчик завдання струму збудження 11 на вході збудника.

Спочатку в структурі стенду передбачалося використати рішення, вживані в системах двозонного регулювання швидкості двигуна постійного струму в зоні, вищій за основну, при якій підтримується незмінною напруга в силовому колі. Цю функцію виконує регулятор напруги з підпорядкованим контуром регулювання струму збудження двигуна за допомогою датчика, що вимірює напругу силового кола. Таке рішення застосовне і для підтримки постійною напруги синхронного генератора, вихідна напруга якого має синусоїдальну форму. При цьому чітко витримується співвідношення між діючим значенням змінної напруги генератора  $U_{г.д.}$  і його середнім значенням  $U_{г.ср.}$ , вимірюваним після випрямляча. Як відомо, для синусоїдального сигналу відношення  $U_{г.д.} / U_{г.ср.}$  становить 1,11.

Згадане рішення не може бути реалізоване для цього типу генераторів оскільки, зважаючи на істотну відмінність форми напруги генератора від синусоїди, порушується співвідношення між його діючими і середніми значеннями.

Мета роботи – довести, що особисті властивості генераторів індукторного типу, які призначені працювати з різними частотами обертання, обумовили часткову зміну структури традиційних схем управління, використаних у системах двозонного регулювання швидкості приводів постійного струму.

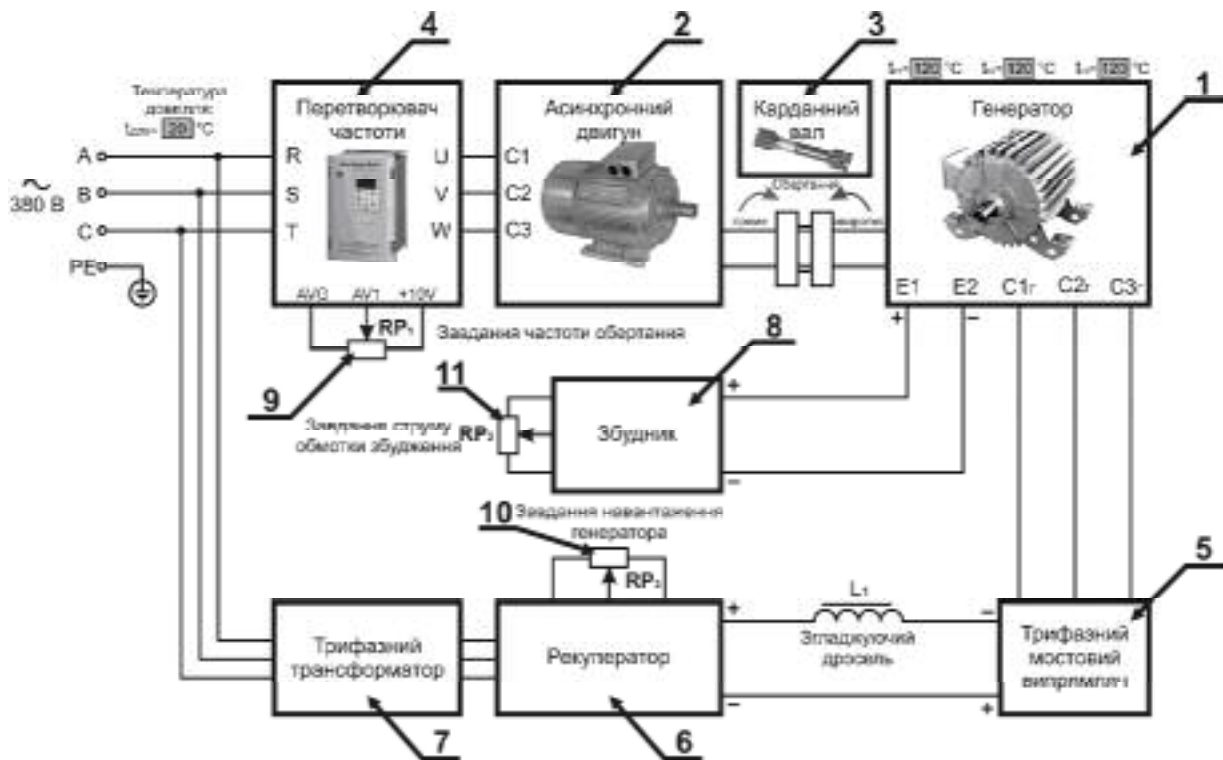


Рис. 1. Структура силових кіл випробувальної станції генераторів

На рис. 2, ліва частина, показано форми напруги генератора в режимі холостого ходу (а) і при додатку навантаження: 50 А (28,7 %  $I_n$ ) (б), 100 А (57,4 %  $I_n$ ) (в);  $I_n = 174$  А – номінальний фазний струм генератора.

Аналіз форми напруги генератора свідчить, що навіть у режимі неробочого ходу відношення  $U_{г.д.}/U_{г.ср.}$  складає 1,124, а при струмі навантаження 50 А доходить до значення 1,35. Таке співвідношення означає, що при номінальному середньому значенні напруги в ланці постійного струму діюче значення напруги буде на 35 % вище номінального і перевищуватиме величину випробувальної напруги при перевірці міцності ізоляції, яке має бути тільки на 30 % вище за номінальне. Зважаючи на викладене, тривіальну структуру станції довелося модифікувати шляхом побудови незалежної схеми виміру напруги генератора, не пов'язаної з шиною постійного струму силового кола. Замість того, щоб підтримувати напругу силового кола постійного струму незмінною, перейшли безпосередньо до стабілізації напруги генератора. Зважаючи на суттєве спотворення форми напруги генератора, на вході да-

чика напруги включено фільтр, призначення якого – не пропускати вищі гармоніки до датчика.

Для визначення параметрів фільтру використані результати аналізу гармонічного складу напруги генератора. На рис. 2, в правій частині, представлено гармонічний склад напруги генератора при різному навантаженні. Гармонічний склад свідчить про те, що основний вплив на спотворення форми вихідної напруги генератора чинять гармоніки з номерами 5 і 7, менший вплив чинять 11, 13, 17 і 19 гармоніки. Завдяки фільтру, який затримує зазначені гармонічні складові, вхідний сигнал датчика напруги має наближену до синусоїди форму. При такій модифікації структури регулятора напруги з підпорядкованим контуром регулювання струму збудження генератора виявився здатним підтримувати незмінною напругу генератора при різних частотах обертання і навантаженнях.

Автоматизована станція, загальний вигляд якої представлено на рис. 3, вже другий рік успішно експлуатується в одному із залізничних депо України. Завдяки наявності рекуперативного пристрою, споживання енергії з мережі йде лише на покриття втрат при її перетворенні в перетворювачі частоти, асинхронному

двигуні, генераторі, рекуператорі і узгоджувальному трансформаторі.

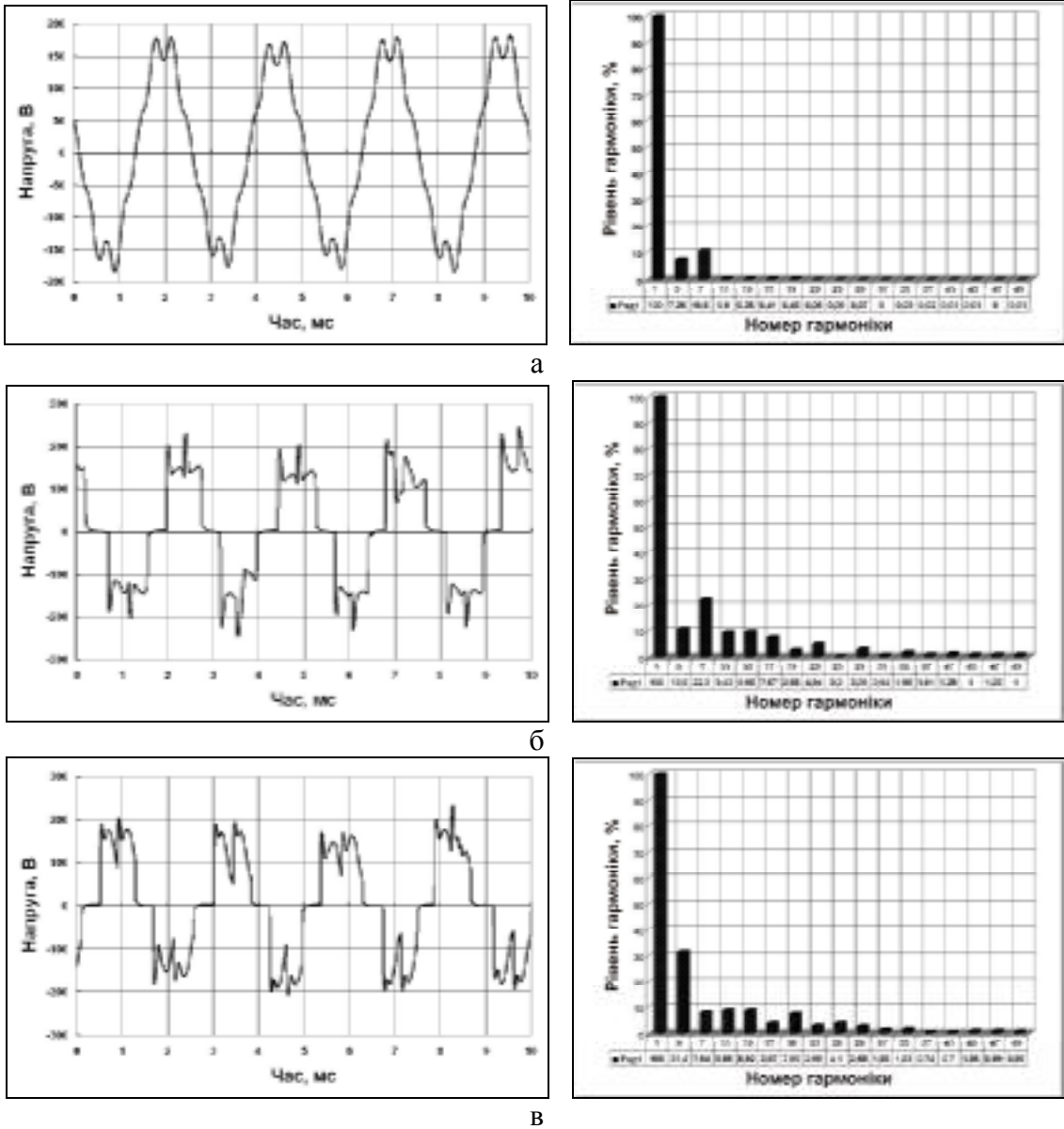


Рис. 2. Форми напруги генератора і його гармонічний склад, які відповідають частоті обертання 2000 об/хв.: неробочий хід (а); навантаження 50 А (б); навантаження 100 А (в)



Рис. 3. Загальний вигляд автоматизованої випробувальної станції синхронних генераторів  
Список використаної літератури

1. ГОСТ 11826-86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний.
2. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия.

Отримано 25.06.2012

#### References

1. GOST 11826-86. Rotating electrical machines. Common test methods [in Russian].
2. GOST 2582-81. Rotating electrical machines traction. Specifications. [in Russian].



Бересан  
Олександр Олександрович, аспірант каф. електромеханічних систем з комп'ютерним управлінням Одеського нац. політехн. ун-ту.  
Тел: +38 (097) 145 145 0  
e-mail: berik@i.ua



Бойко  
Андрій Олександрович, к.т.н., доц. каф. електромеханічних систем з комп'ютерним управлінням Одеського нац. політехн. ун-ту.  
Тел: +38 (048) 7348423  
e-mail: dart77@ukr.net



Радімов  
Сергій Миколайович, д.т.н., проф. каф. енергопостачання та енергоменеджменту Одеського нац. політехн. ун-ту.  
Тел: +38(0482) 346855  
e-mail: radimov7@rambler.ru