

УДК 621.314.57

Д. С. Білухін, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

ЕКОНОМІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ РЕМОНТІ ДОПОМІЖНИХ МАШИН ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Вступ. На цей час зростання вартості електричної енергії для підприємств залізниці значно впливає на вартість ремонту електровозів. Підприємства постійно впроваджують нові технології та пристрої, які дозволяють виконати деяку економію енергетичних ресурсів. Це і нові системи освітлення цехів, заміна електромашинних перетворювачів в стендах взаємного навантаження на статичні в основі яких знаходиться сучасна напівпровідникова елементна база та ін.. В напрямку енергозбереження при випробуваннях тягових електричних двигунів постійного струму досягнуті значні результати. Але ж сучасна цінова політика на електричну енергію вимагає проведення дослідів по економії і при випробуваннях допоміжних електричних машин.

Випробування допоміжних машин призначені для перевірки технічних характеристик електричної машини, якості її ремонту, придатності для експлуатації, а також на відповідність вимогам правил з ремонту. Їх виконують на спеціальних станціях для випробувань в локомотивних депо, які обладнанні спеціалізованими стендами, обладнанням та пристроями, необхідними для кваліфікованого проведення комплексу випробувань. Значною частиною по споживанню електричної енергії при випробуваннях допоміжних електричних машин є випробування машини протягом однієї години номінальним струмом. Виключити з випробувань цей момент не можливо, тому що він є необхідним для визначення нагріву елементів електричної машини.

Результати дослідів. У відповідності за ГОСТ 2582-81 “Машины электрические вращающиеся тяговые” не існує чіткої вказівки до вибору методів випробування електричних машин постійного та пульсуючого струму на нагрів, а лише умови випробувань. Взагалі відомо три методи випробування електричних машин: безпосереднього навантаження з використанням схем взаємного навантаження або схем повернення енергії, посередній метод та метод без віддачі енергії зовні [1]. При випробуваннях електричних машин постійного струму використовується метод взаємного навантаження для тягових двигунів та метод без віддачі енергії зовні для допоміжних генераторів. Останнє полягає в тому, що навантаженням генераторів є реостати які встановлюються послідовно в коло якоря генератора та створюють номінальний струм [2]. Схема достатньо проста, але ж на цей час не економна. Привід компресора випробується створенням протитиску, тому в даному досліді не розглядається. Одним зі шляхів економії електричної енергії при випробуваннях генераторів є заміна реостатного навантаження на взаємне навантаження або розробки схем повернення енергії. Розглянемо можливі шляхи такої економії.

Основним магістральним електровозом постійного струму на залізницях України ще й досі залишається електровоз ВЛ8. На цьому електровозі в кожній секції знаходиться привід компресора НБ-431А, привід відцентрового вентилятора НБ-430А з генератором керування ДК-405К та перетворювач НБ-429А (на деяких електровозах НБ-436А). Електричні двигуни НБ-431А дозволяють використовувати при випробуваннях метод взаємного навантаження, а для інших це ускладнюється конструктивним виконанням цих машин. Конструктивною особливістю машин НБ-430А та НБ-429А є сполучення на одному валу як приводного двигуна так і генератора постійного струму. Звичайно, при випробуваннях, навантаженням генератора є набір реостатів, які протягом однієї години розсіюють електричну енергію навколо.

Виходом з цієї ситуації може бути розробка класичного веденого мережею інвертора. Завжди є живлення станції від трьохфазної мережі промислової частоти в яку можна віддавати енергію. Розробка системи керування для підтримки номінального значення струму генератора та елементна база для неї на цей час розвитку науки і техніки не є складною задачею.

Слід визначитися про економічну доцільність такого пристрою. Наприклад, в локомотивному депо Нижньодніпровськ вузол Придніпровської залізниці знаходиться в експлуатації близько 100 електровозів ВЛ8. Програма ремонтів передбачає ремонт з подальшими випробуваннями допоміжних машин 5 електровозів в місяць. До цього можна додати 2 електровози які ремонтуються позапланово та ще 22 комплекти вказаних агрегатів для яких виконуються приймальні випробування після ремонту на заводі. Всього 190 комплектів машин НБ-430А та НБ-429А протягом року. При використанні веденого інвертора до мережі можна повернути до 5 тис. кВт-год електричної енергії. Попередні розрахунки вартості інвертора з системою керування показали на то, що система може бути окуплена за два роки, а при подальшому зростанні вартості енергоносіїв і раніше. Так згідно Постанови НКРЕ України від 21.10.2011 р. №2025 про введення з 01.11.2011 року нових роздрібних тарифів промислові та прирівняні до них споживачі 1 класу напруги мають ставку 664,7 грн. за 1 МВт-год, 2-го класу напруги – 874,8 грн. за 1 МВт-год. Таким чином при діючих тарифах можлива економія коштів складатиме більш 4,4 тис. грн. на рік.

Однак слід визначитися з питанням доцільності розробки єдиного перетворювача для декількох типів машин, які відрізняються за своїми основними технічними характеристиками, що показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики генераторів електровоза ВЛ8

Показник	Тип генератора		
	ДК-405К	НБ-429А	НБ-436А
Потужність, кВт	4,5	22,2	30,4
Напруга на колекторі, В	50	37	38
Струм якоря, А	90	600	800
Частота обертання, об./хв.	875	1200	1200

З таблиці 1 можна зробити висновок про суттєвий розбіг струмів якорів генераторів, що впливає на неповне використання тиристорів інвертора у випадку випробувань генераторів ДК-405К. Та, на перший погляд, веде до збільшення кута випередження тиристорів інвертора за рахунок розбіжності напруг на колекторі генераторів. Тому виконаємо порівняльний аналіз для вибору кінцевого варіанту перетворювача – для трьох типів генераторів чи для двох більш потужних.

Оскільки живлення випробувальної станції депо трьохфазне, то вибираємо для аналізу за базову мостову трьохфазну схему веденого інвертора. Номінальний струм інвертора приймаємо рівним номінальному струму якоря генератора ($I_{Iном} = I_{Яном}$). Першим порівняльним варіантом приймаємо варіант з двома більш потужними генераторами типів НБ-429А та НБ-436А.

Розрахунок основних параметрів інвертора виконуємо за методиками та рекомендаціями, які викладені в [3, 4].

Струм вентильного плеча

$$I_V = I_{Iном} / 3. \quad (1)$$

Для генераторів НБ-429А та НБ-436А цей струм складатиме 200 та 266 А відповідно, що вимагає вибір тиристорів плеча по найбільшому значенню.

Діюче значення фазної напруги вторинної обмотки трансформатора при з'єднанні зіркою в режимі випрямляча

$$U_{2B} = U_{dном} / 2,34, \quad (2)$$

де $U_{dном}$ – номінальна напруга на колекторі генератора. Виходячи з незначного розбігу цих напруг (37 та 38 В) фазна напруга вторинної обмотки трансформатора в режимі випрямлення $U'_{2B} = 15,8$ В для генератора НБ-429А та $U''_{2B} = 16,24$ В для генератора НБ-436А.

Коефіцієнт підвищення напруги при переході в режим інвертування для випробувань генератора НБ-436А приймаємо $K_i = 1,15$ [4], а для генератора НБ-429А

$$K'_i = K_i \cdot U''_{2B} / U'_{2B}. \quad (3)$$

Завдяки тому, що номінальна напруга колектора генератора НБ-429А декілька менша, то коефіцієнт підвищення напруги збільшується до $K'_i = 1,18$, що в подальшому впливає на енергетичні показники пристрою.

Кут випередження інвертора

$$\beta = \arccos\left(\frac{1}{K_i}\right). \quad (4)$$

Для генераторів що розглядаються складатиме 32,2 та 29,6 електричних градусів ($^{\circ}$ ел.).

Діюче значення напруги вентильної обмотки трансформатора при роботі інвертора

$$U_{2I} = K_i U_{2B}. \quad (5)$$

Діюче значення напруги вентильної обмотки трансформатора при роботі інвертора для генераторів що розглядаються 18,6 В, що є не стандартним значенням та вимагає окремої розробки трансформатора.

Середнє значення вхідної напруги інвертора при умовному холостому ході ($\beta = 0$)

$$U_{I0(\beta=0)} = 2,34U_{2I}, \quad (6)$$

$$U_{I0(\beta=0)} = 43,6 \text{ В.}$$

Середнє значення вхідної напруги інвертора

$$U_{I0} = 2,34U_{2I} \cos \beta. \quad (7)$$

Для генератора НБ-429А $U_{I0} = 37$ В, для генератора НБ-436А $U_{I0} = 38$ В.

Максимальна зворотна напруга вентильного плеча

$$U_{bmax} = \sqrt{6}U_{I0(\beta=0)}, \quad (8)$$

$$U_{bmax} = 107 \text{ В.}$$

Коефіцієнт потужності інвертора

$$k_{II} = \nu \cdot \cos\left(\beta - \frac{\gamma}{2}\right), \quad (9)$$

де ν – коефіцієнт викривлення струму мережної обмотки трансформатора; для трьохфазної мостової схеми випрямлення $\nu = 0,955$;

γ – кут комутації.

В методиці яка вибрана для розрахунку кут випередження інвертора вибирається виходячи з коефіцієнту підвищення напруги в режимі інвертування. В такому випадку єдиним шляхом для підвищення коефіцієнта потужності є збільшення кута комутації. З одного боку це дає збільшення

коефіцієнта потужності, а з іншого, це збільшує втрати потужності в елементах схеми інвертора під час комутації. Останнім можна знехтувати оскільки на цей час вся енергія, яка вироблюється генераторами під час випробувань втрачається на реостатах. З іншого боку, зменшення кута випередження інвертора може бути досягнуто використанням більш швидкодіючих тиристорів, оскільки мінімальний кут визначається

$$\beta_{min} \geq \gamma_{max} + \delta_0 + \tau, \quad (10)$$

де γ_{max} – кут комутації при максимальному робочому струмі інвертора, а в даному випадку він може бути фіксованим оскільки умови до випробувань генератора не змінні;

τ – кут запасу, який приймається рівним $5 - 10^\circ$ ел. при частоті мережі $f = 50$ Гц;

δ_0 – час виключення тиристора в кутових одиницях

$$\delta_0 = t_q 360 f, \quad (11)$$

де t_q – час виключення тиристора.

В даному випадку можливо використання тиристорів швидкодіючих типу ТБ143-320-6 з часом виключення 50 мкс [5], що дає $\delta_0 = 0,9^\circ$ ел.. Виходячи з виразу (10) при прийнятому $\beta = 32,2^\circ$ ел. для генератора НБ-429А кут комутації може знаходитися в межах $21,3...26,3^\circ$ ел.. Хоча величина надто велика, тому що звичайно кут комутації веденого інвертора $\gamma_{max} \leq 10...12^\circ$ ел. [6], але це дає широкий діапазон при проектуванні трансформатора для інвертора та приєднанні перетворювача до мережі живлення з будь якими параметрам потужності короткого замкнення, оскільки на величину кута комутації, насамперед, значно впливають такі параметри як напруга короткого замкнення трансформатора перетворювача та потужність короткого замкнення мережі.

Виходячи з основного рівняння комутації для трьохфазного мостового інвертора

$$\cos(\beta - \gamma) - \cos \beta = \frac{4fI_{ном}L_a}{\sqrt{6}U_{2I}} \quad (12)$$

визначимо припустиму приведена анодну індуктивність при якій задовольняються визначені раніше параметри

$$L_a = \frac{\sqrt{6}U_{2I}(\cos(\beta - \gamma) - \cos \beta)}{4fI_{ном}} \quad (13)$$

Так для інвертора з генератором НБ-429А припустима приведена анодна індуктивність $L_a = 51...56$ мкГн.

Результати розрахунку по другому варіанту, коли інвертор використовується для випробувань трьох генераторів приведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні параметри інвертора

Параметр	Тип генератора		
	ДК-405К	НБ-429А	НБ-436А
Струм інвертора, А	90	600	800
Струм вентильного плеча, А	30	200	266,6
Діюче значення фазної напруги вторинної обмотки трансформатора при випрямленні, В	21,4	15,8	16,2
Коефіцієнт підвищення напруги при переході в режим інвертування	1,15	1,55	1,51
Кут випередження інвертора, °ел.	29,6	50	48,5
Діюче значення напруги вентильної обмотки трансформатора при роботі інвертора, В	24,5		
Середнє значення вхідної напруги інвертора при умовному холостому ході, В	57,4		
Середнє значення вхідної напруги інвертора, В	50	37	38
Максимальна зворотна напруга вентильного плеча, В	141		

Висновок. Результати розрахунків по (1 – 9) показав на перевагу розробки єдиного інвертора для післяремонтних випробувань генераторів НБ-429А та НБ-436А електровоза ВЛ8. Крім того, такий інвертор може бути використано в подальшому для випробувань генераторів електровозів ВЛ10 та ВЛ11М, тому що вони укомплектовані генераторами НБ-436А. Для генераторів типу ДК-405К можна залишити існуючу методику випробувань або проектувати окремий інвертор, оскільки використання єдиного інвертора не виправдано енергетичними показниками системи, а саме – при випробуваннях більш потужних генераторів суттєво зменшується коефіцієнт потужності веденого інвертора, а потужність що віддається до мережі не значна.

Література

- ГОСТ 11828 – 86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. Государственный комитет по стандартам СССР. Москва, 1986 – 42 с.
- Красковская С. Н. Текущий ремонт и техническое обслуживание электровозов постоянного тока / С. Н. Красковская, Э. Э. Ридель, Р. Г. Черепашенец. – М.: Транспорт, 1989. – 408 с.
- Засорин С. Н. и др. Электронная и ионная техника. – М.: Транспорт, 1969. – 376 с.
- Куликов П. Б., Низов А. С., Штин А. Н. Электронная и преобразовательная техника. – М.: ВЗИИТ, 1989. – 41 с.
- Партала О. Н. Радиокомпоненты и материалы: справочник / Партала О. Н. – К.: Радиоаматор, М.: КУБК-а, 1998, – 720 с.
- Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Бурков А. Т. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.