

Частина III. ГІРНИЧА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.314.57

Д.С. Білухін, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак 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 лежить сучасна напівпровідникова елементна база та ін. Щодо енергозбереження при випробуваннях тягових електричних двигунів постійного струму, то в цьому напрямку 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 та пристроями, необхідними для кваліфікованого проведення комплексу випробувань. Значною частиною по споживанню електричної енергії при випробуваннях допоміжних електричних машин є випробування машини протягом години номінальним струмом. Виключити з випробувань цей момент не можливо, оскільки він є необхідним для визначення нагріву елементів електричної машини.

Результати дослідів. Згідно з 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: метод 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 використовують 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 з'єднані послідовно з якорем генератора та створюють номінальний струм [2]. Схема достатньо проста, але ж на цей час не економічна. 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 розробка 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 розташування на одному валу як приводного двигуна, так і генератора постійного струму. Звичайно при випробуваннях навантаженням генератора є набір реостатів, які протягом години розсіюють електричну енергію навколо.

Виходом з цієї ситуації може бути розроблення класичного веденого мережею інвертора. Завжди є живлення станції від трифазної мережі промислової частоти, в яку можна віддавати енергію. Розроблення системи керування для підтримки номінального значення струму генератора та елементної бази для неї на цей час розвитку науки і техніки не є складним завданням.

Слід визначити економічну доцільність такого пристрою. Наприклад у локомотивному депо Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці знаходиться в експлуатації близько 100 електровозів ВЛ8. Програмою ремонтів передбачається ремонт 5 електровозів з подальшим випробуванням допоміжних машин у 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. Усього передбачено 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

із системою керування засвідчили, що система може бути окуплена за два роки, а при подальшому зростанні вартості енергоносіїв і раніше. Так, згідно з Постановою НКРЕ України від 21.10.2011 р. №2025 про введення з 01.11.2011 року нових роздрібних тарифів промислові та привітряні 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 більше 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 наведені в табл. 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, це призводить до збільшення кута випередження тиристорів інвертора за рахунок розбіжності напруг на колекторі генераторів. Тому виконаємо порівняльний аналіз для вибору кінцевого варіанта перетворювача – для трьох типів генераторів чи для двох більш потужних.

Оскільки живлення випробувальної станції депо – трифазне, то для аналізу за базову вибираємо мостову трифазну схему веденого інвертора. Номінальний струм інвертора приймаємо таким, що дорівнює номінальному струму якоря генератора ($I_{\text{ном}} = I_{\text{яном}}$). Першим для порівняння 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 роботах [3, 4].

Струм вентильного плеча

$$I_V = I_{\text{ном}} / 3 \quad (1)$$

Для генераторів НБ-429А та НБ-436А цей струм складатиме 200 та 266 А відповідно, що вимагає вибір тиристорів плеча за найбільшим значенням.

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

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

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

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

$$b = \arccos\left(1/K'_i\right) \quad (4)$$

для генераторів, що розглядаються, складатиме 32,2 та 29,6 електричних градусів (ел.град).

Діюче значення напруги вентиляної обмотки трансформатора при роботі інвертора

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

Діюче значення напруги вентиляної обмотки трансформатора при роботі інвертора для генераторів, що розглядаються, складає 18,6 В, що є не стандартним і вимагає окремої розробки трансформатора.

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

$$U_{I0(b=0)} = 2,34U_{2I} = 43,6 \text{ В}. \quad (6)$$

Середнє значення вхідної напруги інвертора

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

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

Максимальна зворотна напруга вентиляного плеча

$$U_{b \max} = \sqrt{6}U_{I0(b=0)} = 107 \text{ В}. \quad (8)$$

Коефіцієнт потужності інвертора

$$k_{II} = n \cdot \cos\left(b - \frac{g}{2}\right), \quad (9)$$

де n – коефіцієнт викривлення струму мережною обмоткою трансформатора; для трьохфазної мостової схеми випрямлення $n = 0,955$; g – кут комутації.

У методиці, яка вибрана для розрахунку, кут випередження інвертора вибирається виходячи з коефіцієнта підвищення напруги в режимі інвертування. У такому випадку єдиним шляхом для підвищення коефіцієнта потужності є збільшення кута комутації. З одного боку, це дає збільшення коефіцієнта потужності, а з іншого, втрати потужності в елементах схеми інвертора під час комутації. Останнім можна знехтувати, оскільки вся енергія, яка вироблюється генераторами під час випробувань втрачається на реліктах. З іншого боку, зменшення кута випередження інвертора може бути досягнуто використанням більш швидкодіючих тиристорів, оскільки мінімальний кут визначається за формулою

$$b_{\min} \geq g_{\max} + d_0 + t, \quad (10)$$

де g_{\max} – кут комутації при максимальному робочому струмі інвертора, а в даному випадку він може бути фіксованим, оскільки умови до випробувань генератора не змінні; t – кут запасу, який приймається 5–10 ел. град при частоті мережі $f = 50$ Гц; d_0 – час вимкнення тиристора в кутових одиницях

$$d_0 = t_q 360f, \quad (11)$$

де t_q – час вимкнення тиристора.

У даному випадку можливо використання швидкодіючих тиристорів типу ТБ143-320-6 з часом вимкнення 50 мкс [5], що дає $d_0 = 0,9$ ° ел.. Виходячи з виразу (10) при прийнятому $b = 32,2$ ел. град для генератора НБ-429А кут комутації може знаходитися в межах 21,3–26,3 ел. град. Хоча величина надто велика, тому що звичайно кут комутації введеного інвертора $g_{\max} \leq 10-12$ ел. град [6], але це дає широкі можливості при проектуванні трансформатора для інвертора та приєднанні перетворювача до мережі живлення з будь-якими параметрам потужності короткого замикання, оскільки на величину кута комутації, насамперед, значно впливають такі параметри, як напруга короткого замкнення трансформатора перетворювача та потужність короткого замикання мережі.

Виходячи з основного рівняння комутації для трифазного мостового інвертора

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

визначимо припустиму зведену анодну індуктивність, при якій задовольняються визначені раніше параметри:

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

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

Результати розрахунку за другим варіантом, коли інвертор використовується для випробувань трьох генераторів, наведено в табл. 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. град	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 за виразами (1 – 9) показали, що для післяремонтних випробувань генераторів НБ-429А та НБ-436А електровоза ВЛ8 треба розробити єдиний інвертор. Крім того, такий інвертор може бути використаний у 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 виправдане енергетичними показниками системи, а саме: при випробуваннях більш потужних генераторів суттєво зменшується коефіцієнт потужності веденого інвертора, а потужність що віддається у мережу незначна.

Список літератури

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

Рекомендовано до друку проф. Костіним М.О.