

ВПЛИВ РІВНЯ НАПРУГИ У КОНТАКТНІЙ МЕРЕЖІ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ТЯГОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПІДВИЩЕНОЇ ЧАСТОТИ

Муха А.М.

VOLTAGE LEVEL INFLUENCE IN CONTACT NETWORK ONTO WORK MODES OF TRACTION TRANSFORMER OF THE RAISED FREQUENCY

Mukha A.

Розглянуто вплив рівня напруги у контактній мережі на параметри трифазного тягового трансформатора підвищеної частоти. Зокрема враховується можливість роботи багатосистемного електровозу від контактної мережі з нетрадиційним рівнем напруг 6, 12, 24 кВ постійного струму. Реалізувати стабільність вихідної напруги трансформатора при зміні схеми поєднання мережевих випрямлячів перетворювача та напруги контактної мережі, пропонується зміною кількості витків обмоток. Вплив виду тягового двигуна на параметри трансформатора розглянуто на прикладі існуючих тягових двигунів ЕД141 та СТА1200.

Ключові слова: напруга, багатосистемний електровоз, тяговий трансформатор, підвищена частота, тяговий перетворювач.

Постановка проблеми. Досвід експлуатації електрифікованих залізниць в Україні показує перевагу з точки зору техніко-економічних показників системи змінного струму (25 кВ, 50 Гц) у порівнянні з системою 3 кВ постійного струму. Але переведення електрифікованих ділянок з постійного струму 3 кВ на змінний 25 кВ, 50 Гц за різними оцінками потребує від 60 до 80% від вартості побудови нової лінії, а термін окупності перевищує 15 років, що у наш час майже неможливе з економічних міркувань. Підвищення напруги у контактній мережі постійного струму до рівня 6, 12 або 24 кВ дозволить підвищити ефективність електричної тяги постійного струму. При 12 кВ постійного струму техніко-економічні показники практично такі ж, як і при 25 кВ змінного струму, тому доцільно проводити поетапне підвищення напруги постійного струму. На сьогодні стан ізоляції дозволяє підвищити напругу у контактній мережі до 6 кВ без будь-яких суттєвих витрат на її реконструкцію. Але це вимагає принципово нового енергоефективного тягового електрорухомого складу для роботи на електрифікованих ділянках як постійного струму з підвищеною

напругою у контактній мережі, так і на ділянках з напругою змінного струму 25 кВ, 50 Гц.

Вирішити цю проблему може впровадження багатосистемного електрорухомого складу (ЕРС), під яким розуміється ЕРС, що зможе працювати як при змінному струмі з напругою 25 кВ, так і постійному при різних рівнях напруги у контактній мережі (3, 6, 12 або 24 кВ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вказаній проблемі присвячені роботи відомих вчених: В. Е. Розенфельда, Г. И. Колпахчяна, В. П. Феоктистова, В. В. Литовченко, М. В. Панасенко, Н. А. Ротанова, М. П. Бадера та інші.

В попередніх роботах [1,2,3,4] автор довів доцільність використання на багатосистемних електровозах статичні перетворювачі з ланкою підвищеної частоти. Основною складовою цих статичних перетворювачів є потужні трифазні тягові трансформатори підвищеної частоти. Саме використання трифазних трансформаторів є особливістю запропонованої системи, на відміну від існуючих тягових перетворювачів підвищеної частоти [5].

Мета. Провести дослідження по визначенню впливу рівня напруги у контактній мережі на режими роботи трифазного тягового трансформатора підвищеної частоти, який забезпечує реалізацію багатосистемності електровозу.

Результати досліджень.

Режими роботи та параметри тягових трансформаторів підвищеної частоти в запропонованих перетворювальних структурах [2,3], обумовлюється трьома факторами які пов'язані з напругою живлення (напругою контактної мережі) та напругою навантаження:

- 1) нестабільність вхідної напруги трансформатора під впливом коливання напруги контактної мережі (фактор коливання);
- 2) зміна величини вхідної напруги трансформатора, при зміні параметрів контактної мережі та

схеми поєднання мережевих випрямлячів перетворювача (фактор багатосистемності);

3) необхідність підтримки вихідної напруги трансформатора в заданих межах в якості вхідної напруги тягового контуру (фактор стабільності).

Перший фактор не залежить від структури перетворювача і визначається нормативними документами [6,7]. Для контактної мережі постійного струму номінальною напругою 3000 В мінімальна напруга складає 2200 В, максимальна 3850 В та 4000 В (при наявності режиму рекуперації енергії). Для контактної мережі змінного струму промислової частоти 50 Гц та номінальною напругою 25000 В, мінімальна напруга складає 19000 В, а максимальна 29000 В.

У відсотковому співвідношенні значення цих напруг у першому наближенні складатиме:

$$\frac{2200}{3000} = 73 \%, \quad \frac{3850}{3000} = 128 \%, \quad \frac{4000}{3000} = 133 \%,$$

$$\frac{19000}{25000} = 76 \%, \quad \frac{29000}{25000} = 116 \%.$$

По аналогії з існуючою системою постійного струму 3 кВ, пропонується прийняти наступні значення коливання напруг контактної мережі постійного струму підвищеної напруги (табл.1.). Мінімальну напругу контактної мережі постійного струму підвищеного рівня напруги прийняти на рівні 73 % від номінальної, а максимальну 133 % (з урахуванням можливості рекуперації).

Узгодженість вхідної напруги та номінальної напруги трансформатора пропонується проводити шляхом використання групового поєднання трансформаторів [1...3].

Внаслідок перемикання поєднання трансформаторів зміни вхідної напруги трансформатора підвищеної частоти не повинні мати суттєвий вплив на рівень вихідної напруги трансформатора (фактор стабільності).

$$w = \frac{U}{4,44 f B_m k_C S}, \quad (1)$$

де: U - напруга обмотки; k_C - коефіцієнт заповнення сталлю перерізу магнітопроводу. Для стрічкового магнітопроводу з ізоляцією емаллю, при товщині стрічки 0,08 мм, коефіцієнт k_C дорівнює 0,85 [8].

Реалізувати стабільність вихідної напруги трансформатора при зміні схеми поєднання мережевих випрямлячів перетворювача та напруги контактної мережі, у відповідності до виразу (1), можливо за рахунок зміни кількості витків w обмоток (первинної або вторинної), частоти f вхідної напруги або

магнітної індукції B_m у магнітопроводі при незмінності площі S перерізу магнітопроводу. Частота та магнітна індукція у трансформаторах підвищеної частоти дуже тісно пов'язані при забезпеченні мінімальних масогабаритних показників, тобто зміна однієї величини вимагає зміну іншої. Тому залишається один ефективний засіб – зміна кількості витків обмоток.

Такий спосіб використовується в системах зоно-фазового регулювання на електровозах змінного струму радянського виробництва [9,10 та ін.] та системах регулювання напруги трансформаторів [10].

Регулювання кількості витків по первинній або вторинній стороні тягового трансформатора підвищеної частоти, слід обумовлювати наявністю відповідної комутуючої апаратури і ніяким чином не впливає на суть проблеми, яка досліджується у даній роботі. Тому в подальшому це питання не розглядається і є темою окремих досліджень.

Вихідна напруга трифазного тягового трансформатора підвищеної частоти є вхідною для тягового випрямляча [1] який доцільно виконати за трифазною мостовою схемою. Тяговий випрямляч живить тяговий двигун постійного струму, або тяговий інвертор, який живить асинхронний тяговий двигун. Тобто напруга тягового двигуна постійного, або змінного струму, визначає номінальну вихідну напругу тягового трансформатора підвищеної частоти (напругу вторинної обмотки).

На існуючих електровозах змінного струму, які експлуатуються на залізницях України, використовуються тягові двигуни постійного (пульсуючого) струму (ДПС) з номінальними напругами від 950 В (двигун НБ-418К6) до 1600 В (двигун НБ-412К). Максимальна напруга для цих двигунів дорівнює відповідно 1180 В та 1850 В [9]. Серед номінальних напруг електричних апаратів, у відповідності до ДСТУ 2773-94 [7], до яких відносяться і тягові електродвигуни, є два значення які відповідають представленому діапазону напруг, це 1000 В та 1500 В.

Тоді для забезпечення максимального рівня уніфікації, пропонується в якості номінального рівня вихідної напруги тягового випрямляча прийняти значення 1500 В. Крім того, саме це значення напруги є номінальним для тягових двигунів постійного струму, які використовуються на електровозах постійного струму [12].

У разі використання трифазного мостового випрямляча його вхідна U_2 та вихідна U_d напруги пов'язані співвідношенням [13]:

$$U_d = 2,34 U_2. \quad (2)$$

Таблиця 1

Значення коливання напруг підвищеного рівня у контактній мережі

Рівень напруги контактної мережі, В	Відносне значення напруги			
	Мінімальне, 73%	Номінальне, 100 %	Максимальне, 128 %	Максимальне при рекуперації, 133%
1	2	3	4	5
3000	2200	3000	3850	4000
6000	4400	6000	7700	8000
12000	8800	12000	15400	16000
24000	17600	24000	30800	32000

Приймаючи $U_{d \text{ ДПС}} = 1500 \text{ В}$ отримаємо фазну напругу трансформатор підвищеної частоти у разі живлення від випрямляча тягових двигунів постійного (пульсуючого) струму:

$$U_{2 \text{ ДПС}} = \frac{U_{d \text{ ДПС}}}{2,34} = \frac{1500}{2,34} \approx 640 \text{ В}. \quad (3)$$

При використанні у тяговому приводі багатосистемного електровоза асинхронних тягових двигунів (АТД), тяговий випрямляч повинен забезпечити підтримання на вході тягового інвертора стабільного рівня напруги [1]. При використанні в якості тягового інвертора трифазного автономного інвертора напруги (АІН) його вхідна напруга приблизно буде дорівнювати [13]:

$$U_{\phi \text{ АТД}} = 0,45 \cdot U_{d \text{ АТД}}. \quad (4)$$

Лінійна напруга сучасного асинхронних тягового двигуна типу АД914 (СТА1200), який використовується на електровозі ДС3 складає 1870 В [13], тоді:

$$U_{d \text{ АТД}} = \frac{U_{\phi \text{ АТД}}}{0,45} = \frac{1870}{\sqrt{3} \cdot 0,45} \approx 2400 \text{ В}. \quad (5)$$

Саме це значення пропонується прийняти в якості базового при визначенні значення вихідної фазної напруги трифазного трансформатора підвищеної частоти, який призначено для живлення тягового контуру при асинхронних тягових двигунах.

Тобто по аналогії з виразом (3) отримаємо:

$$U_{2 \text{ АТД}} = \frac{U_{d \text{ АТД}}}{2,34} = \frac{2400}{2,34} \approx 1026 \text{ В}. \quad (6)$$

Таким чином, для статичних перетворювачів тягового приводу багатосистемних електровозів, вихідну фазну напругу трифазного тягового трансформатора підвищеної частоти приймаємо на рівні 640 В, у разі використання тягових двигунів постійного (пульсуючого струму) та 1026 В, при використанні асинхронних тягових двигунів.

Для перетворювальних структур визначених у попередніх дослідженнях [1,2,3] як раціональні, з точки зору надійності та уніфікації, приймаємо розрахунковим режимом підключення мережевих випрямлячів за схемою 1а до контактної мережі постійного струму з напругою 3 кВ, оскільки цей режим присутній у будь-якому варіанті побудови статичного перетворювача підвищеної частоти для тягового приводу багатосистемного електровозу [2,3].

У цьому режимі рівень напруги неробочого режиму буде дорівнювати $U_1 = 3000 \text{ В}$, оскільки первина обмотка трансформатора підвищеної частоти підключається мережевим інвертором до контактної мережі постійного струму за заданим алгоритмом.

Втрати та струм неробочого ходу залежать від розрахункової потужності трансформатора [10].

Для проведення подальших досліджень режимів роботи статичного перетворювача приймаємо: потужність тягового двигуна постійного струму еквівалентну потужності на валу тягового двигуна ЕД-

141У1 (електровоз ДЕ1) - 728 кВт при коефіцієнті корисної дії 93,3% споживана потужність складає $\frac{728}{0,933} = 780 \text{ кВт}$; потужність асинхронного тягового

двигуна еквівалентну потужності на валу тягового двигуна АД914 (електровоз ДС3) - 1200 кВт при коефіцієнті корисної дії 95,5% споживана потужність складає $\frac{1200}{0,955} = 1256 \text{ кВт}$.

Серед визначених структур присутні силові модулі М1, М2 та М3 [2,3], тобто до трифазного трансформатора підвищеної частоти підключаються тягові контури, які живлять відповідно один, два або три тягових двигуна.

До складу тягового контуру при тягових двигунах постійного струму входить тяговий випрямляч та трифазний тяговий інвертора [1]. В трифазних системах кращими показниками як енергетичними так і якості вихідної напруги та струму, характеризуються трифазні мостові схеми [13]. Саме тому для тягового випрямляча та тягового інвертора, які входять до складу тягового контуру статичного перетворювача підвищеної частоти тягового приводу електровозу, пропонується використати мостові схеми.

Коефіцієнти корисної дії тягового випрямляча та тягового інвертора, у першому наближенні приймаємо 0,99, що відповідає показникам реальних тягових перетворювачів електровозів змінного струму [9].

Вихідна потужність трифазного трансформатора підвищеної частоти P_2 залежить від типу силового модуля. При силовому модулі М1 до трансформатора підключається тяговий контур для живлення одного тягового двигуна, при М2 – двох та при М3 – трьох.

При силовому модулі М1 та тяговому двигуні постійного струму, потужністю еквівалентною тяговому двигуну ЕД-141У1 та прийнятому вище коефіцієнті корисної дії тягового випрямляча, потужність трифазного трансформатора складатиме:

$$P_{2 \text{ ТТПЧ ДПС М1}} = 1,05 \cdot \frac{780}{0,99} \approx 827,3 \text{ кВт}. \quad (7)$$

Коефіцієнт 1,05 у виразі (7) характеризує встановлену потужність трифазного трансформатора (при активно-індуктивному навантаженні) [13].

Тоді вихідна потужність однієї фази трифазного трансформатора підвищеної частоти складатиме:

$$P_{2\phi \text{ ТТПЧ ДПС М1}} = \frac{1}{3} \cdot 827,3 \approx 275,7 \text{ кВт}. \quad (8)$$

$$P_{2 \text{ ТТПЧ ДПС М2}} = 1,05 \cdot \left(\frac{780}{0,99} + \frac{780}{0,99} \right) \approx 1654,5 \text{ кВт}. \quad (9)$$

Потужність однієї фази триобмоткового трансформатора:

$$P_{2\phi \text{ ТПЧ ДПСМ2}} = \frac{1}{3} \cdot 1654,5 \approx 551,5 \text{ кВт.} \quad (10)$$

Струм однієї вихідної обмотки трифазного триобмоткового трансформатора підвищеної частоти силового модуля М2 при тягових двигунах постійного струму буде дорівнювати:

$$I_{2 \text{ ТПЧ ДПС М2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{551,5 \cdot 10^3}{640} \approx 431 \text{ А.} \quad (11)$$

Аналогічно потужність трифазного триобмоткового трансформатора підвищеної частоти силового модуля М2 при розрахункових асинхронних тягових двигунах складатиме:

$$P_{2\text{ТПЧ АТД М2}} = 1,05 \times \left(\frac{1256}{0,99 \cdot 0,99} + \frac{1256}{0,99 \cdot 0,99} \right) \approx 2691,1 \text{ кВт.} \quad (12)$$

Потужність однієї фази триобмоткового трансформатора:

$$P_{2\phi \text{ ТПЧ АТДМ2}} = \frac{1}{3} \cdot 2691,1 \approx 897 \text{ кВт.} \quad (13)$$

Струм однієї вихідної обмотки трифазного триобмоткового трансформатора підвищеної частоти силового модуля М2 при асинхронних тягових двигунах складатиме:

$$I_{2 \text{ ТПЧ АТД М2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{897 \cdot 10^3}{1026} \approx 437,1 \text{ А.} \quad (14)$$

Таким саме чином розрахуємо параметри номінального режиму роботи тягового трансформатора підвищеної частоти силового модуля М3 при тягових двигунах постійного струму та асинхронних тягових двигунах:

$$P_{2\text{ТПЧ ДПС М3}} = 1,05 \times \left(\frac{780}{0,99} + \frac{780}{0,99} + \frac{780}{0,99} \right) \approx 2481,8 \text{ кВт;} \quad (15)$$

$$P_{2\phi \text{ ТПЧ ДПСМ3}} = \frac{1}{3} \cdot 2481,8 \approx 827,3 \text{ кВт;} \quad (16)$$

$$I_{2 \text{ ТПЧ ДПС М3}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{827,3 \cdot 10^3}{640} \approx 431 \text{ А;} \quad (17)$$

$$P_{2\text{ТПЧ АТД М3}} = 1,05 \times \left(\frac{1256}{0,99 \cdot 0,99} + \frac{1256}{0,99 \cdot 0,99} + \frac{1256}{0,99 \cdot 0,99} \right) \approx 4036,7 \text{ кВт;} \quad (18)$$

$$P_{2\phi \text{ ТПЧ АТДМ3}} = \frac{1}{3} \cdot 4036,7 \approx 1345,6 \text{ кВт;} \quad (19)$$

$$I_{2 \text{ ТПЧ АТД М3}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1345,6 \cdot 10^3}{1026} \approx 437,1 \text{ А.} \quad (20)$$

Порівнявши значення струмів вторинних обмоток трифазних тягових трансформаторів підвищеної частоти для різних силових модулів та різних видах

тягових двигунів, приймаємо як середнє розрахункове:

- номінальний вихідний струм трансформатора при ТДПС

$$I_{2 \text{ ТПЧ ДПС}} = \frac{430,7 + 431 + 431}{3} \approx 431 \text{ А;} \quad (21)$$

- номінальний вихідний струм трансформатора при АТД

$$I_{2 \text{ ТПЧ АТД}} = \frac{437,1 + 437,1 + 437,1}{3} = 437,1 \text{ А.} \quad (22)$$

Існуючі технології будівництва трансформаторів дозволяють отримати коефіцієнти корисної дії трансформаторів на рівні 98...99% [10,11,12]. Тому, у першому наближенні, приймаємо, що коефіцієнт корисної дії тягового трифазного трансформатора підвищеної частоти дорівнює $\eta_{\text{ТПЧ}} = 98,5 \%$.

Висновки.

1. При розрахункових двигунах постійного струму потужністю 728 кВт номінальна вхідна потужність тягового трансформатора підвищеної частоти знаходиться в межах від 839,9 до 2519,6 кВт, в залежності від типу силового модуля. При розрахункових асинхронних тягових двигунах потужністю 1200 кВт вхідна потужність трансформатора буде знаходитися в межах від 1366,1 до 4098,2 кВт. При силових модулях типів М2 та М3 доцільно, з точки зору надійної роботи тягових двигунів та реалізації принципів індивідуального привода, використовувати трьох та чотирьохобмоткові трифазні трансформатори, а при силових модулях типу М1 слід використовувати двообмоткові трансформатори.

2. Максимальна вхідна напруга трансформатора дорівнює 3000 В, а розрахунковий ККД 98,5 %.

Література

1. Дубинець, Л. В. Структурна схема перспективного електровозу подвійного живлення. [Текст] / Л. В. Дубинець, Г. М. Чілікін, А. М. Муха // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика.» – Дніпродзержинськ: ДДТУ. - 2007. - С.356-357.
2. Муха, А. М. Порівняльний аналіз перетворювальних структур тягового привода перспективних багатосистемних електровозів з тяговими двигунами постійного струму. [Текст] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 27. – Д.: ДНУЗТ. - 2009. - С. 93 - 98.
3. Муха, А. М. Структурна надійність тягового перетворювача для багатосистемного електровоза з асинхронними тяговими двигунами. [Текст] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Вип. 28 – Д.: ДНУЗТ. - 2009. - С. 40-47.
4. Муха А. Н. Определение рациональной структуры преобразователя многосистемного электроподвижного состава / А. Н. Муха, Е. Я. Куриленко // Scientific proceedings of Riga technical university. Transport and engineering. – 2008. - ser. 6. - vol. 30. - P. 88-90.
5. Steimel A. Power-Electronics Issues of Modern Electric Railway Systems / A. Steimel // Advances in Electrical

and Computer Engineering. vol. 10. - №2. - 2010. - P.3-10.

6. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений: ГОСТ 6962-75. – [чинний від 1977-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 6 с.
7. Апарати електричні тягові. Загальні технічні умови: ДСТУ 2773-94 (ГОСТ 9219-95). – [чинний від 1996-01-07]. – К.: Держстандарт України, 1996. – 74 с.
8. Горский, А. Н. Расчет электромагнитных элементов вторичного электропитания [Текст] / А. Н. Горский, Ю. С. Русин, Н. Р. Иванов, Л. А. Сергеева. – М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.
9. Дубровский, З. М. Грузовые электровозы переменного тока: Справочник. / В. И. Попов, Б. А. Тушканов / - М.: Транспорт, 1991. – 471 с.
10. Тихомиров, П. М. Расчет трансформаторов. [Текст] / П. М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
11. Захарченко, Д. Д. Подвижной состав электрических железных дорог. Тяговые электрические машины и трансформаторы. [Текст] / Н. А. Ротанов, Е. В. Горчаков, П. Н. Шляхто. - М.: Транспорт, 1968. - 296 с.
12. Безрученко, В. Н. Электрические машины. [Текст] / В. Н. Безрученко, А. С. Хотян. – К.: Вища шк., 1987. - 215 с.
13. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст] / Ю. С. Забродин. – М.: Высш. шк., 1982. – 496 с.

References

1. Dubynets, L. V. Strukturna shema perspektyvnogo elektrovozu podvijnoho zhyvlenja. / L. V. Dubynets, G. M. Chilikin, A. M. Mukha // Zbirnyk naukovykh prats Dniprodzerzhynskogo derzhavnogo tehnichnogo universytetu (tehichni nauky). Tematychnyj vypusk «Problemy avtomatyzovanogo elektroprivoda. Teorija i praktyka.» – Dniprodzerzhynsk: DDTU. 2007. P. 356-357.
2. Mukha, A. M. Porivnjalnyj analiz peretvorjuvalnyh struktur tjagovogo pryvodu perspektyvnyh bagatosystemnyh elektrovoziv z tjagovymy dvygunamy postojnogo strumu. // Visnyk Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana. – 2009. – № 27. – P. 93-98.
3. Mukha, A. M. Strukturna nadijnist tjagovogo peretvorjuvacha dlja bagatosystemnogo elektrovoza z asynhronnymy tjagovymy dvygunamy. // Visnyk Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazaryana. – 2009. – №28. – P. 40–47.
4. Mukha A. M. Opredelenie racionalnoj struktury preobrazovatelja mnogosistemnogo elektropodvizhnogo sostava / A. M. Muha, E. Ja. Kurilenko // Scientific proceedings of Riga technical university. Transport and engineering. – 2008. – ser. 6. – vol. 30. – P. 88-90.
5. Steimel A. Power-Electronics Issues of Modern Electric Railway Systems / A. Steimel // Advances in Electrical and Computer Engineering. vol. 10. - №2. - 2010. - P.3-10.
6. Transport elektrificirovannyj s pitaniem ot kontaktnoj seti. Rjad naprjazhenij: GOST 6962-75. – М.: Izdatelstvo standartov, 1978. – 6 p.
7. Aparaty elektrichni tjaгови. Zagal'ni tehichni umovy: DSTU 2773-94 (GOST 9219-95). – К.: Derzhstandart Ukrainy, 1996. – 74 p.
8. Gorskij, A. N. Raschet elektromagnitnyh elementov vtorichnogo elektropitanija / A. N. Gorskij, Ju. S. Rusin,

N. R. Ivanov, L. A. Sergeeva. – Moscow: Radio i svjaz, 1988. – 176 p.

9. Dubrovskij, Z. M. Gruzovye elektrovozy peremennogo toka: Spravochnik. / V. I. Popov, B. A. Tushkanov. – Moscow: Transport, 1991. – 471 p.
10. Tihomirov, P. M. Raschet transformatorov / P. M. Tihomirov. – Moscow: Energoatomizdat, 1986. – 528 p.
11. Zaharchenko, D. D. Podvizhnoj sostav elektricheskikh zheleznyh dorog. Tjagovye elektricheskie mashiny i transformatory / N. A. Rotanov, E. V. Gorchakov, P. N. Shljahto. – Moscow: Transport, 1968. – 296 p.
12. Bezruchenko, V. N. Elektricheskie mashiny / V. N. Bezruchenko, A. S. Hotjan. – Kiev: Vishhja shkola, 1987. – 215 p.
13. Zabrodin, Ju. S. Promyshlennaja elektronika / Ju. S. Zabrodin. – Moscow: Vysshja. shkola, 1982. – 496 p.

Муха А.Н. Влияние уровня напряжения в контактной сети на режимы работы тягового трансформатора повышенной частоты

Рассмотрено влияние уровня напряжения в контактной сети на параметры трехфазного тягового трансформатора повышенной частоты. В частности учитывается возможность работы многосистемного электровоза от контактной сети с нетрадиционными уровнями напряжения 6, 12 и 24 кВ постоянного тока. Реализовать стабильность выходного напряжения трансформатора при смене схемы соединения входных (сетевых) выпрямителей (преобразователей) и напряжения в контактной сети, предлагается сменой количества витков обмоток. Влияние вида тягового двигателя на параметры трансформатора рассмотрено на примере существующих тяговых двигателей ЭД141 и СТА1200.

Ключевые слова: напряжение, многосистемный электровоз, тяговый трансформатор, повышенная частота, тяговый преобразователь.

Mukha A. Voltage level Influence in contact network onto work modes of traction transformer of the raised frequency

Considered the influence of level voltages in contact network on the parameters of a three-phase traction transformer of the raised frequency. In particular possibility of the work a multisystem electric locomotive from DC contact network with new level of the voltage 6, 12 and 24kV is taken into account. It is proposed to realize the stability of the output voltage of the transformer when change the scheme of the join input (network) of the rectifiers (the converters) and voltages in contact network by change of the number of turns of the windings. The Influence of the type of the traction engine on parameters of the transformer is considered on example existing traction engines ED141 and STA1200.

Keywords: the voltage, multisystem electric locomotive, traction transformer, raised frequency, traction converter.

Муха А.М. – д.т.н., завідувач кафедри електротехніки та електромеханіки, ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: andremu@i.ua.

Рецензент: Дубинець Л.В., д.т.н., проф.